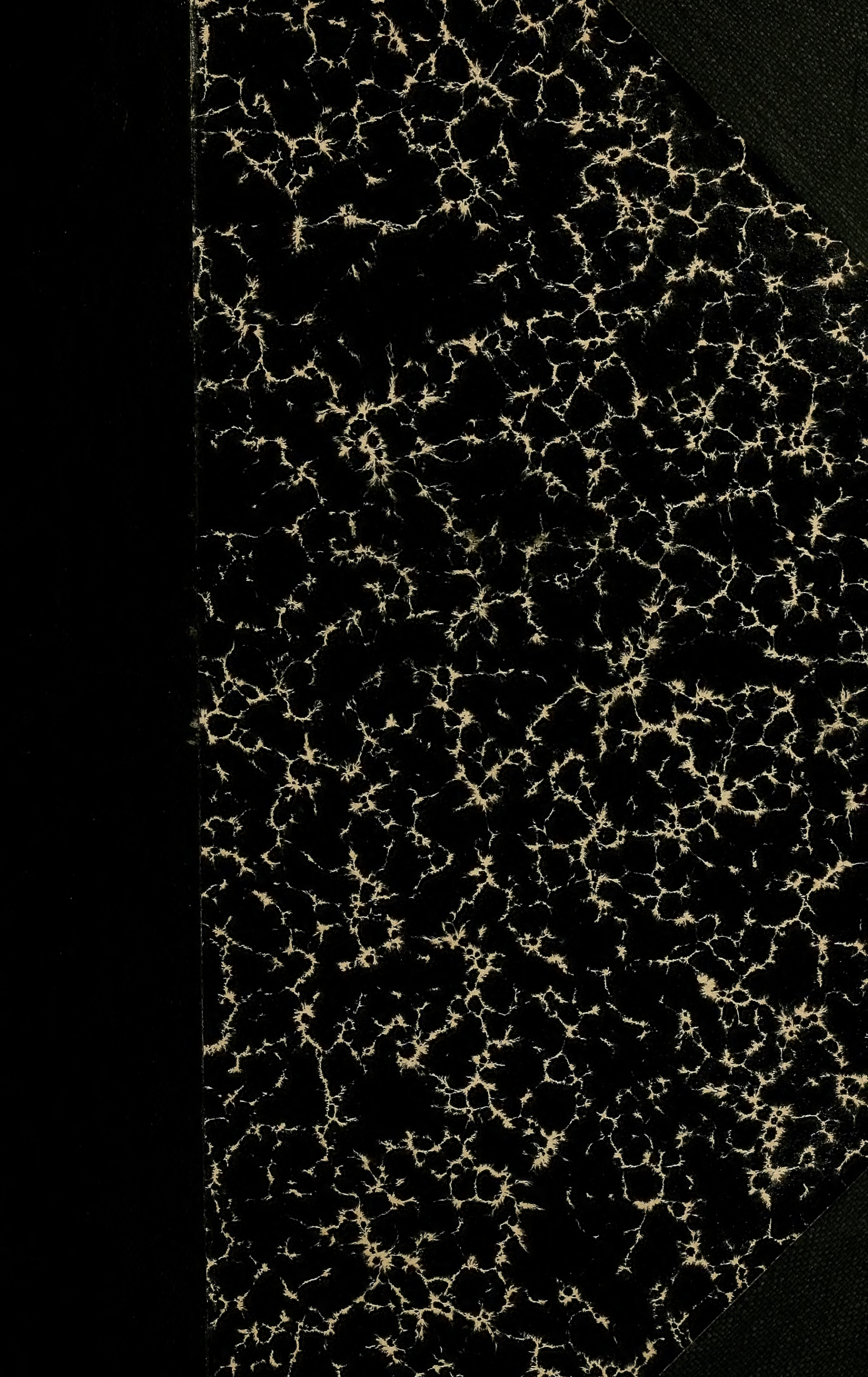
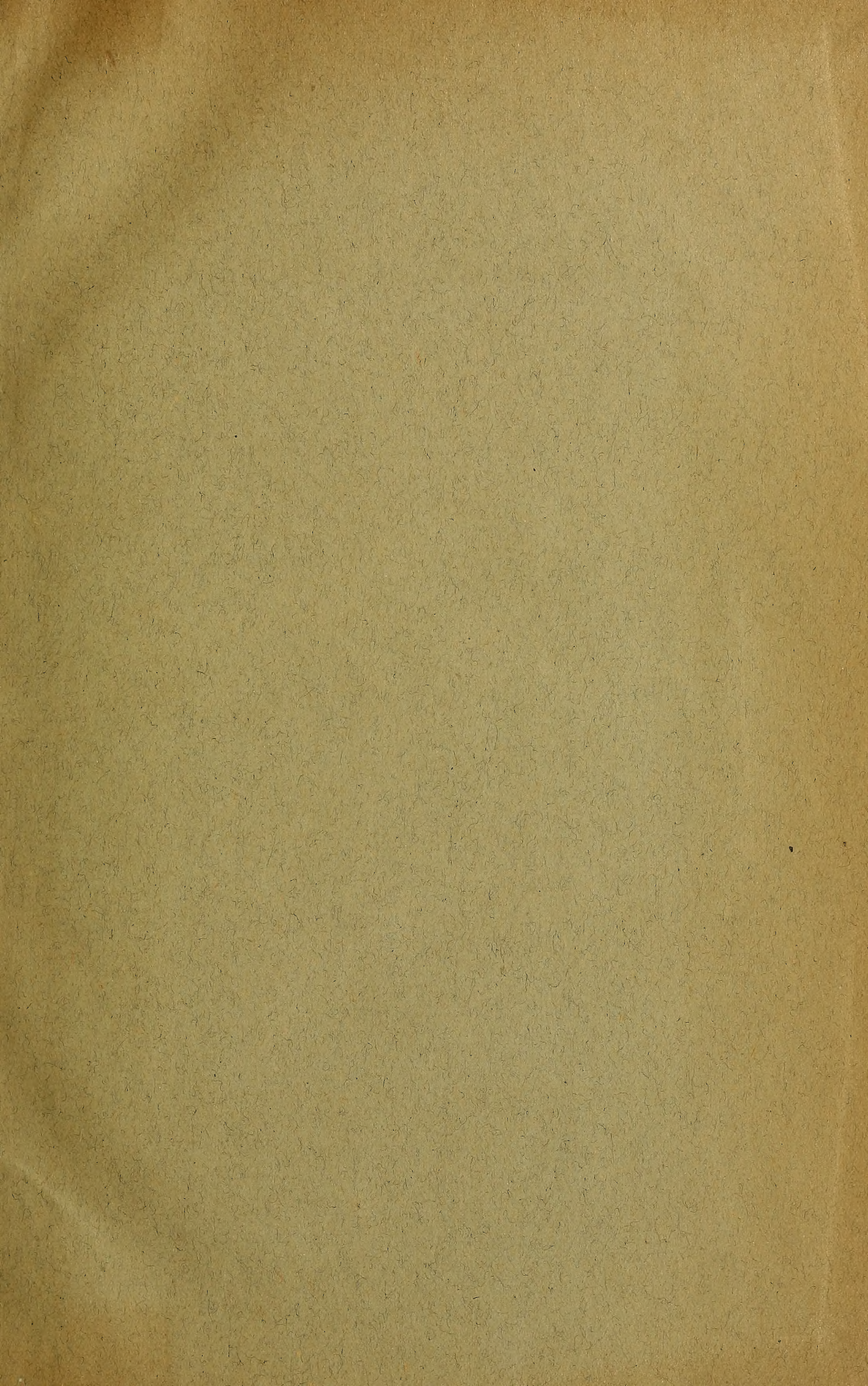






ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,
PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

UND

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1917.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1918

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1917.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1918



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

ARCHIV
FÜR
ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN
VON
DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,
PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN
UND
DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1917.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT ACHTZEHN FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1918



Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 ℳ Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge für die anatomische Abteilung sind an

Professor Dr. **Wilhelm v. Waldeyer-Hartz** oder an Professor Dr. **H. Virchow** oder an Dr. **P. Röthig**, sämtlich in Berlin N.W., Luisenstr. 56,

Beiträge für die physiologische Abteilung an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden. — Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom Manuskript getrennten Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, unter Berücksichtigung der Formatverhältnisse des Archives, eine Zusammenstellung, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizulegen.

Der Nährwert der Vogelwicken und Wicken.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

Die Fälschung des Mehles mit Unkrautsamen hat wohl stets stattgefunden. Die bei der Reinigung des Getreides vor dessen Mahlen als Abfall in großer Menge sich ergebenden wertlosen Sämereien werden als Handelsartikel in zwei Sorten, Raden und Wicken, bezogen.[1] Die Raden bestehen der Hauptsache nach aus dem Samen der Kornrade neben lokal wechselnden anderen Beimengungen (Delphinium consolida Polygonum convolvulus und arvensis usw.). Die Wicken bestehen aus Samen verschiedener Leguminosen (Vicia, Lathyrus, Ervum, Medicago usw.) und Cruciferen (Sinapis, Brassica, Camelina usw.), auch Früchten von Laubkrautarten (Galium); die Samenschalen werden ausgemahlen und gehen in die Kleie über. Von den hier aufgeführten Materialien ist in der ersten Knappheit des Mehles im Jahre 1915 vieles letzterem beigemengt worden, worüber ich schon früher berichtet habe.[2]

Die Wicken sind übrigens auch mit Roggen gemischt ein Handelsartikel von erheblichem Umfang. So werden Vogelwicken mit Roggenbesatz benutzt, um Roggen als Futtermittel für Tiere unter Umgehung der Ernährungsverordnungen in den Handel zu bringen. Vor kurzem ist mir die Frage vorgelegt worden, wie sich die Vogelwicke etwa als Mittel zur Streckung des Brotgetreides verhalte. Geheimrat Prof. Dr. Wittmack hatte die Güte, eine Bestimmung des Samengemenges vorzunehmen; die hellen gesprenkelten Samen des Gemenges waren Vicia hirsuta (Ervum hirsutum), d. h. die rauhhaarige Wicke oder Zitterlinse, die kleinen schwarzen Samen sind Vicia tetrasperma (Ervum tetraspermum, die viersamige Wicke); außerdem befand sich darunter wenig Rapssamen, Kornblumensamen, etwas Lolium und Galiumarten. Von der Vicia augustifolia ist nach-

[1] Siehe Rubner, *Lehrbuch der Hygiene.* 7. Aufl. S. 581.

[2] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 148.

gewiesen, daß sie, mit Wasser verrührt, etwas Blausäure bildet; das war bei diesem Gemenge der Vogelwicke nicht zu erweisen.

Ein Grund, Mehl aus diesen Vogelwicken für ungesund zu erklären, liegt nach den bisherigen Erfahrungen nicht vor.

Als Gemisch einer Leguminosenart kann es wohl zur Verwendung kommen. Nach älteren Beobachtungen machen Leguminosenmehle ein Brot nicht gut backbar, doch verträgt Brot wenigstens Zusätze bis 10 Prozent der Mehlmenge, wie mir von erfahrener Seite mitgeteilt wurde. Natürlich kommen auch andere Verwendungsweisen der Mehle in Betracht, vorausgesetzt, daß der Geschmack nicht unangenehm empfunden wird. Wie die Vermahlung und ob eine teilweise Ausscheidung der Samenschalen bewirkt wurde, ist nicht bekannt, aber unwahrscheinlich; makroskopisch war eine Scheidung von Mehl und Schalenanteilen nicht zu sehen.

A. Vogelwicke.

Von dem Mehl wurden 70 g lufttrocken mit der gleichen Menge Wasser bei 100° behandelt und diese verkleisterte Masse den 1000 g Pferdefleisch, welche der Hund pro Tag erhielt, beigemengt. Irgendwelche Veränderungen im Verhalten des Tieres wurden nicht bemerkt. Die Abgrenzung war nicht sehr scharf, so daß noch etwas Knochenkot der Sicherheit wegen mit dem Versuchskot vermengt wurde.

Das Vogelwickenmehl ist ziemlich aschereich, reich an N, es hat einen mittleren Zellmembrangehalt; die Zellmembran ist reich an Pentosan, aber sie erreicht darin die Zerealienkleie nicht.

	In 100 g Trockensubstanz	In 70 g = 62·6 g Trockensubstanz pro Tag
Asche	5·64	3·15
Organisch	94·36	58·4
N	3·72 = 23·25 Protein	2·33 = 14·55 Protein
Pentosan	5·09	3·18
Zellmembran	6·26	3·92
mit Pentosan	1·41	0·88
,, Zellulose	3·17	1·98
,, Restsubstanz	1·68	1·05
Fett	1·00	0·63
Kalorien	460·5	288·2

	In 100 Teilen Zellmembran
Zellulose	50·63
Pentosan	22·50
Rest	26·87

	In 100 Teilen Kot	In 26·6 g Kot
Asche	52·99	14·1
Organisch	47·01	12·5
N	3·55	0·94
Pentosan	2·68	0·71
Zellmembran	7·30	1·94
mit Pentosan	1·33	0·35
mit Zellulose	5·19	1·38
mit Restsubstanz	0·72	0·19
Stärke	1·5	0·40
Kalorien	226·2	60·7

	In 100 Teilen Zellmembran
Zellulose	71·09
Pentosan	18·29
Restsubstanz	10·62

In ihrem Zellulosegehalt übertrifft die Vogelwicke die Kleiearten. Hierin liegt also ein prinzipilleer Unterschied vor. Die Ausscheidungen waren nicht reichlich, aber sie übertrafen die Menge des sonst bei reiner Fleischkost entstehenden Kotes. Berechnet man kurzerhand den Kalorienverlust, so sieht man einen Verlust im Kot um 60·7 Kalorien pro Tag, während sonst etwa 67·7 Kalorien bei reiner Fleischkost erscheinen. Hierzu ist aber zu bemerken, daß die Ausscheidung von Fleischkot nicht von der Zufuhr allein, sondern auch von dem Eiweißumsatz abhängig ist; die Zugabe von Stärke, die einen wesentlichen Teil der Wicke ausmacht, kann also eine Minderung der Kotbildung durch Minderung des Umsatzes hervorgerufen haben. Zur Feststellung wirklichen Verlustes der Vogelwicken muß man den Weg einschlagen, die nachgewiesenen Verluste im Kot im einzelnen zu betrachten. Dieses sind:

0·4 g Stärke × 4·1	1·6	Kalorien
1·94 g Zellmembran × 4·2	8·15	,,
0·2 g Pentosan[1] × 3·9	0·8	,,
1·7 g Protein[2] × 5·88	10·0	,,
	20·5	Kalorien

Die Zufuhr war 288·2, Verlust 20·5 = 7·11 Prozent.

[1] 0·71 g Pentosan, abzüglich 0·13 aus Fleisch = 0·58, in Zellmembran allein 0·35 = 0·58 − 0·35 = 0·2.

[2] 0·27 g N waren in der Zellmembran = 1·7 Protein.

Im ganzen ist der Verlust also nicht so groß; er würde ohne die Zellmembran sich fast auf die Hälfte reduzieren. Das Stärkemehl ist ausgezeichnet resorbiert worden. In der Einnahme war (58·4 — 19·3) = 39·3 g, im Kot 0·4 g, direkt bestimmt = 1·02 Prozent Verlust.

Die N-Ausscheidung war 0·94 g N pro Tag; davon gehen ab als nicht resorbierbares Protein 0·27 g N, die in der Zellmembran blieben, = 0·67 g als Fleischkot, während sonst 1·03 g N kam. Berechnet man als Eiweißverlust die 0·23 g N in der Zellmembran, so macht dies, auf die Zufuhr bezogen, 11·5 Prozent aus (wobei die N-Stoffwechselprodukte außer Betracht bleiben).

Der Hauptverlust der näher bestimmten Stoffe betrifft die Zellmembran. Die zugeführte Zellmembran zeigt eine Zusammensetzung, welche von der Kleie der Zerealien abweicht, sie ist zellulosereicher. Die Resorption zeigt aber ähnliche Verhältnisse wie bei der Kleie, sie ist also besser wie die von Holz und Nußschalen usw.

Der Verlust an Pentosan und Zellmembran war folgender:

An Gesamtpentosan	22·3	Prozent
,, Zellmembran	49·4	,,
,, Pentosen der Zellmembran	39·5	,,
,, Zellulose der ,,	69·6	,,
,, Restsubstanz der ,,	18·1	,,

Von der Pentosan des Kotes kommen pro Tag rund 0·13 g auf Fleischkot, also 0·71 — 0·13 = 0·58 g auf die Vogelwicke; in der Zellmembran waren 0·35 g, demnach 0·58 — 0·35 = 0·23 g nicht in Zellmembran enthaltene Pentosen, in der Zufuhr 3·18 — 0·88 = 2·30 g Pentosan nicht in der Zellmembran, so daß sich der Verlust des letzteren auf 10 Prozent stellt.

Im ganzen betrachtet, wäre also das Vogelwickenmehl obiger Herkunft ein durchaus zu beachtendes eiweißreiches Nahrungsmittel von günstiger Resorption, das die ausnahmsweise Verwendung für Ernährungszwecke wohl rechtfertigen würde. Bei der Zubereitung müsste die für Leguminosen wichtige Verwendung weichen Wassers auch bedacht werden. Die Verwendung von Vogelwicken wird dadurch rationell, daß diese nur einen mäßigen Gehalt von Zellmembran besitzen, etwa wie Korn von etwas über 70 Prozent Ausmahlung. Stoffwechselprodukte N-haltiger Natur wie andere sind hier in die Berechnung nicht einbezogen, weil die Resorption des Fleisches nebenbei auch die Verdauung der Wicke besorgt hat.

B. **Die Wicke** (Vicia sativa).

Die Wicken sind im allgemeinen auch früher schon zur Mischung mit anderem Mehl als Brot verbacken worden, doch wird dem Wickenbrot nachgesagt, daß es schwer verdaulich sei. Worauf sich dieses Urteil gründet, ist mir nicht bekannt. Die Wicke als Leguminose ist reich an Protein. Soweit mir bekannt, ergeben sich für die Entschälung der Wicken, auch bei der größeren Art Vicia sativa, große Schwierigkeiten, so daß an eine einfache Trennung zwischen Schalen und Mehl meist nicht zu denken ist. Die Wicken werden daher dort, wo sie verabreicht wurden, meist wie die Erbsen im ganzen mit den Schalen verkocht und so verzehrt. Die Wicken entwickeln mit Wasser angerührt Blausäure; beim Verkochen kommt das nicht in Frage, weil das Ferment durch die Hitze rasch zerstört wird. Sie enthalten als hauptsächlichsten Eiweißstoff neben anderen Legumin und stehen in mancher Beziehung den Lupinen nahe.

Der Versuch wurde am Hunde ausgeführt, die Wicken 250 g lufttrocken gekocht und zerquetscht und direkt ohne Fleisch als Beifutter verabreicht. Zusammensetzung und Ausscheidung enthält nachfolgende Tabelle.

	In 100 Teilen sind	In 225·5 g pro Tag
Asche	3·54	7·98
Organisch	96·46	217·1
N	4·02 = 25·12 Protein	9·05
Pentosan	5·49	12·35
Zellmembran	10·96	24·80
mit Zellulose	5·28	11·88
Verbrennungswärme	441·6	995·7

	In 100 Teilen Kot sind	In 325·6 g Kot = 108·5 g pro Tag
Asche	31·28	33·93
Organisch	68·72	74·56
N	4·69	5·14
Pentosan	5·33	5·80
Zellmembran	18·12	19·57
Zellulose	10·70	11·60
Verbrennungswärme	373·5	405·1

Das Tier erhielt fast genau so viel Kalorien in Wicken wie sonst in Fleisch. Die Resorption war sehr dürftig, von 100 Kalorien der Einfuhr wurden 40·6 Prozent verloren; da die Vicia sativa nicht viel anders zusammengesetzt ist wie die Vogelwicke, nur etwas mehr Zellmembran

enthält, so ist die schlechte Verdaulichkeit eine Wirkung der schlechten Zubereitung.

Die Zellmembran der Wicke ist schlechter verdaulich als jene der Vogelwicke, besonders schlecht wurde die Zellulose verdaut mit 97·64 Prozent Verlust. Die harten, groben Hülsen reizen offenbar den Darm und hindern die Resorption aller Bestandteile. Vom N gehen nicht weniger als 56·8 Prozent verloren, obschon, wie gesagt, die Eiweißstoffe an sich, nach dem Ergebnis bei Vogelwicken beurteilt, sich nicht ungünstig verhalten müßten. An Protein war im Kot im Tag 1·75 g N entsprechend, was einem Verlust von 19·05 Prozent entspricht, woraus weiter folgt, daß 34·0 Prozent des ausgeschiedenen N Proteinverlust und 66·0 Prozent Verlust aus Stoffwechselprodukten war.

Die Zellmembran selbst erklärt den hohen Kalorienverlust im Kot nicht, denn sie macht nur 87·3 Kalorien aus; die Hauptmasse besteht neben den Stoffwechselprodukten und Proteinverlust aus unresorbierter Stärke. Es ist anzunehmen, daß das Wickenmehl fein zermahlen sich wohl wesentlich günstiger verhält. Jedenfalls muß der Versuch zur Abscheidung der Wickenschalen durch Sieben gemacht werden, da nur dann die wertvollen Nährstoffe entsprechend verwertet werden können.

Über die Verwertung einiger Nebenprodukte der Stärkeindustrie für die Ernährung.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Die Kartoffel gehört zu den gut aufnehmbaren Nahrungsmitteln, allerdings ereicht sie, was Resorptionsfähigkeit anlangt, nicht die Gebäcke und Speisen aus feinem Weizen- oder Reismehl, aber mit 5·61 Prozent Verlust an Kalorien stellt sie sich doch nach meinen Versuchen günstig. Allerdings gilt dies nur für mäßige Zufuhr von 2000 bis 2500 Kalorien, während nach meinen älteren Untersuchungen bei 3300 Kalorien Zufuhr die Grenze der guten Verdaulichkeit (rund etwa 14 Prozent Verlust der Kalorien) schon erheblich überschritten sein kann, während gleichgroße Mengen Weizenmehles noch ausgezeichnet resorbiert werden. Diese ungünstige Stellung gegenüber dem Weizen ist nicht wohl in der Verschiedenheit des Zellmembrangehaltes, als wahrscheinlich zum Teil in der Eigenart der Stärke gelegen, da man bei Aufnahme von Mischungen von Kartoffel- und Weizenstärke häufig die erstere im Kote unverändert findet, während die Weizenstärke glatt verdaut ist. Ihr Vorzug in der Verdaulichkeit der Brotarten aus mittlerem Vollkornmehl gegenüber kommt keineswegs immer voll zum Ausdruck. Nach Versuchen von mir und Thomas eignet sich die Kartoffel nur als Beimengung zu kleiearmen Mehlen, während bei stark ausgemahlenen die Verdaulichkeit des Gemisches herabgesetzt wird. Das trifft namentlich auf die Kriegsbrote zu. Es mögen auf diese Weise durch die unzweckmäßige Kombination von Brot und Kartoffeln Zehntausende von Tonnen an Zerealien gewissermaßen verloren gegangen sein.

Die Kartoffel verdankt ihre gute Resorbierbarkeit zum erheblichen Teil dem geringen Zellmembrangehalt der entschälten Frucht; auch

scheint annehmbar, daß die feinen Zellhüllen des Parenchyms in Analogie zu anderen Fällen zu den leichter resorbierbaren gehören, doch liegen Versuche darüber nicht vor.

Es ist zweifellos vielfach die Schale der Kartoffel mit zu Brot verbacken worden, besonders da, wo Kartoffelwalzmehl zur Streckung ausgegeben wurde. Die Mengen der Schale im Verhältnis zum übrigen ist nicht genau bekannt, auch nach Größe, Art der Kartoffel und dem Verkorkungsgrade wechselnd, immerhin mag die Masse der Zellmembranen in der Schale mitunter etwa fast so viel ausmachen, als die Zellmembran im übrigen Teil. Der hohe Zellulosegehalt und die weitgehende Verkorkung läßt die Kartoffelhaut als etwas Minderwertiges erscheinen.

Man denkt in neuester Zeit an eine ausgedehnte Verwertung der Trockenkartoffel als Konserve der täglichen Küche. An und für sich stehen dem keine Bedenken entgegen — außer der Beschränktheit der Verwendung der Trockenpräparate —, falls das Trocknen in geeigneter Weise geschieht. Das zurzeit im Handel befindliche Material von Trockenkartoffeln entspricht aber nicht immer nach Aussehen, Geschmack und Geruch dem an ein menschliches Nahrungsmittel zu stellenden Anforderungen. Offenbar wird manchmal nachlässig oder ungeschickt bei der Trocknung verfahren und bei der Hast, mit der die Herstellung dieser Waren betrieben worden ist, können schlechte Ergebnisse, die unterlaufen, nicht in Erstaunen setzen. Es ist auch geradezu widersinnig, schlecht gewordene Kartoffeln, wie empfohlen wurde, mit zu trocknen, da hierdurch die Ware für den menschlichen Gebrauch geradezu ungenießbar, also nur verschleudert wird.

Bei der technischen Verarbeitung der Kartoffel entstehen eine Reihe von Produkten, so bei der Spiritusbereitung, auch bei der Stärkedarstellung und bei der Fabrikation der Preßkartoffel. Da auch solche Nebenprodukte, die früher zur tierischen Ernährung verwendet wurden, in mehr oder minder unverblümter Form für menschliche Zwecke in Erwägung gezogen werden, sollen in nachstehendem einige dieser Produkte näher untersucht werden, zumal sich dabei Fragen von allgemeiner Bedeutung haben beantworten lassen.

Die Kartoffelpülpe.

Zu den Nebenprodukten der Kartoffelindustrie gehört die Kartoffelpülpe. Das mir zur Untersuchung überwiesene Material stammte aus einer Stärkefabrik; die Pülpe entsteht dabei aus den Resten der Kartoffel, die bei dem Abschwemmen der Kartoffelstärke aus dem zerkleinerten

Material zurückbleiben. Die Pülpe war ein ungefärbtes, geschmack- und geruchloses Pulver, reich an Stärke. Diese läßt sich bei einfachem Zusatz von Jod nicht immer gleich erkennen. Ihrer Natur nach müßte die Pülpe auch reich an Zellmembran sein; das bot die Möglichkeit, die letztere auf ihre Resorbierbarkeit mit zu prüfen, ohne sie erst mühsam eigenhändig herstellen zu müssen.

Die Pülpe hat gegenwärtig, da so wenig Kartoffeln zur Stärkefabrikation verwendet werden, kaum als Nährmittel eines Volkes wirtschaftliche Bedeutung; in Friedenszeit wird sie aber als Nährmittel nicht verwendet, weil dann genügend anderes Material, das sich für die Ernährung besser eignet, vorhanden ist.

Die Pülpe dürfte wohl eine schwankende Zusammensetzung haben, da Ausgangsmaterial und Betriebsart nicht ohne Einfluß bleiben werden.

Nach einer Angabe bei König (Bd. II) berechne ich für 100 Teile Trockensubstanz:

N-Substanz	6·35 Prozent	
Fett	0·70 ,,	
N-freie Extraktstoffe	79·30 ,,	(exkl. Rohfaser)
Rohfaser	10·00 ,,	
Asche	3·33 ,,	

Mein Präparat war folgendermaßen zusammengestellt:

Kartoffelpülpe.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 100 lufttr. = 90·7g trocken pro Tag
Asche	2·90	2·63
Organisches	97·10	88·02
N	0·62	0·56
Pentosan	8·81	7·99
Zellmembran . . .	43·92 mit 6·50g Pentosan	39·83 mit 5·89g Pentosan
Zellulose	19·91	18·06
Rest	17·51	15·88
Stärke	44·7	40·54
Fett	0·13	0·12
Verbrennungswärme	407·6	369·6

Zusammensetzung des Kotes.

	In 100 Teilen tr. Kot	In 73·4 g tr. Kot pro Tag
Asche	22·01	16·15
Organisches	77·99	57·25
N	3·36	2·46
Pentosan	4·64	3·41
Zellmembran	24·02 mit 2·78g Pentosan	17·63 mit 2·06g Pentosan
Zellulose	14·79	10·84
Rest	6·75	4·73
Fett	0·80	0·56
Stärke	20·90	15·34
Verbrennungswärme	368·2	270·2

	In 100 Teilen Zellmembran
Zellulose	61·53
Pentosan	11·59
Rest	26·88

Es war N-ärmer, als die oben angegebene Analyse im Durchschnitt angibt, sehr fettarm, ziemlich reich an Pentosan. von welchem der größte Teil in der Zellmembran sich befindet. 43·9 Prozent waren Zellmembran, die sogenannten N-freien Extraktstoffe waren größtenteils Membranen. Zieht man alle näher bestimmten Stoffe von der organischen Substanz ab, so bleiben nur 44·7 Prozent als eigentliche N-freie Extrakte, die hier aus Stärkemehl bestehen.

Das Präparat enthielt in diesen also ein wohl verwertbares Nährmaterial, dagegen ist, von der Verdaulichkeit vorläufig abgesehen, der Zellmembrangehalt so hoch, daß er alle sonst pflanzlichen Nahrungsmittel, die etwa als menschliche Nahrungsmittel benutzbar sind, erheblich übertrifft.

Die Zellmembranen haben die Eigenschaft, bei dem Aufweichen in Wasser und nach dem Auswaschen usw. zu einer sehr voluminösen Masse aufzuquellen. Ihre Zusammensetzung geht aus den Zahlen der Tabelle hervor. In der Zellmembran der Kartoffel und in den Kartoffelschalen haben sich früher gefunden:

	Zellmembran des Parenchyms	Kartoffelschale	Kartoffelpülpe
Zellulose	40·72	51·87	45·32
Pentosan	5·55	8·55	14·80
Rest	53·70	39·58	39·88

Auffallend groß ist der Unterschied in der Zusammensetzung mit Bezug auf die Menge der Zellulose; es wäre denkbar, daß etwa stark verkorkte Schalen beigemengt waren, worüber ich Näheres festzustellen nicht in der Lage war.

a) Verdaulichkeit der rohen Pülpe.

Zunächst habe ich die Pülpe als „Mehl“ (100 g pro Tag lufttrocken) mit dem Fleisch gemengt und dem Versuchshunde zu 1000 g Fleisch gefüttert. Sie feuchtete sich aus dem Fleisch mit Wasser an und in diesem Zustand nahm der Hund das Material auf.

Im ganzen betrug die Aufnahme

der Kartoffelpülpe (s. Tab. S. 9) 369·6 Kal., die Ausscheidung 270.2 Kal.

Davon gehen ab:

17·63 Zellmembran × 4·1 Kal.	72·2 ,,	
1·35 fr. Pentosan × 3·9 ,,	5·26 ,,	
4·8 Protein × 5.81 ,,	27·8 ,,	
15·3 × 4·18 Stärke	70·1 ,,	175·4 ,,
bleibt		94·8 Kal.
Der Fleischkot liefert im Durchschnitt . . .		67·7 ,,
also mehr		17·1 Kal.

Es kommt also etwas mehr, als sonst an Fleischkotkalorien geliefert wird, aber der Unterschied ist so unbedeutend, daß man nicht sagen darf, er beweise eine Darmreizung mit vermehrter Bildung von Kot. Von den 369·6 Kalorien der Einfuhr waren 175·4 Kalorien in den näher angegebenen Produkten wieder entleert worden, also sicher **47·43 Prozent** der Kalorien wieder verloren gegangen — wozu bei alleiniger Verfütterung von Pülpe noch Stoffwechselprodukte zu rechnen wären.

Die Menge der Stoffwechselprodukte der Verdauungssäfte wurden hier ausschließlich in der Form des Fleischkotes geliefert; das Fleisch war also in der Lage, noch 396·6 Kalorien der Kartoffelpülpe mit zu verarbeiten und zur Resorption zu bringen.

Erheblich ist die Gesamt-N-Ausscheidung im Kot; im Durchschnitt liefern 1000 g Fleisch 1·03 g N im Kot, bei Pülpe treten 2·46 g N aus. In der Zellmembran ist N eingeschlossen und durch kein Lösungsmittel zu entfernen, aus Kot dargestellt 0·77 g, so daß immer noch 0·66 g N außerdem mehr ausgeschieden wurden, die als Mehrung der N-haltigen Stoffwechselprodukte verbleiben.

Was die Zellmembran selbst anlangt, so ist diese zwar nicht sehr gut, aber doch nicht unter großem Verlust aufgenommen worden.

Es wurde verloren:

von Zellmembran	44·26	Prozent
„ Zellulose	60·06	„
„ Pentosan	34·9	„
„ Restsubstanz	29·8	„

Die Zellmembran entspricht in ihrer Verdaulichkeit zwar nicht den leicht resorbierbaren, wohl aber auch wieder nicht den schwer resorbierbaren Arten. Da wir sie im wesentlichen als Kartoffelzellmembran ansehen dürfen, so wird es auch erlaubt sein, diese Ergebnisse als Hinweis auf die Verdaulichkeit der Kartoffel zu betrachten. Geschälte Kartoffeln enthalten nach meinen Bestimmungen 5·59 Prozent Zellmembran, was einem Mehl mittleren Kleiengehaltes entspricht.

Die Verdaulichkeit der eigentlichen Kartoffelzellmembran nach Ausschluß der Schalen dürfte vielleicht günstiger sein, als die vorstehenden Versuche ergeben, weil dabei nur feine, zarte Zellmembranen in Frage kommen, ähnlich wie für den Mehlkern der Getreidearten.

Der Hund hat im Tag rund 22 g Zellmembran resorbiert, was etwa 9 Prozent seines Tagesumsatzes an Kalorien ausmacht. Ähnliche Größen habe ich auch bei Verfütterung anderer Zellmembranen gefunden. Man kann also auch in quantitativer Hinsicht nicht behaupten, daß der Darm des Hundes nur wenig leistungsfähig sei hinsichtlich der Resorption der Zellmembranen. Der Unterschied zwischen Fleisch- und Pflanzenfresser scheint mir kein prinzipieller zu sein. Auch der Fleischfresser resorbiert, wie ich in zahlreichen Einzelbeispielen gezeigt habe, Zellmembranen verschiedener Art bis zu reiner Zellulose, nur die quantitative Leistung ist begrenzt. Über ein gewisses Maß kommt der Hundedarm in der Resorption nicht hinaus, und diese Menge spielt in seinem Ernährungshaushalt keine bedeutende Rolle, um so weniger, als ja der volle Nährwert der resorbierten Kalorien für den Kraftverbrauch nicht in Anschlag gebracht werden darf. Ähnlich liegt die Sache auch für den Menschen.

Der letzte Nährstoff, den wir zu betrachten haben, ist die Stärke; ihre Resorption war sehr ungünstig. Frühere Versuche haben bewiesen, daß man bei der Resorption der Stärke unter Umständen mit einem Effekt von 99·5 Prozent rechnen kann. Hier wurden 37·83 Prozent verloren, von der Zellmembran 55·7 Prozent. Demnach ist die Resorption der Stärke nicht viel größer gewesen wie die der Zellmembran. Das kann unter allen Umständen nur auf die Anwendung der Pülpe in ungekochtem Zustande zurückgeführt werden, da sonst kaum ein anderer Grund für die mangelhafte Aufnahme zu finden sein dürfte. Zwar käme vielleicht

noch der Umstand in Betracht, daß ein Teil der Stärke in schwer lösliche Zellmembran eingebettet ist. Die Frage wird durch den nachfolgenden Versuch mit gekochter Pülpe entschieden.

b) Gekochte Pülpe.

Zu dem folgenden Versuch waren 1000 g Fleisch 70 g Pülpe gekocht zugesetzt worden; im übrigen bleibt die Ausführung der Versuche genau dieselbe wie vorher.

Die näheren Angaben der Zufuhr und Ausfuhr enthält die nachstehende Tabelle.

	In 63·52 tr. Kartoffelpülpe ist enthalten
Asche	1·84
Organisches	61·68
N	0·39
Pentosan	5·59
Zellmembran	27·89
Zellulose	12·62
Pentosan darin	4·12
Rest	11·15
Stärke	28·38
Fett	0·08
Kalorien	258·8

	In 100 Teilen Kot sind	In 40 Teilen Kot sind im Tag
Asche	14·78	5·91
Organisches	85·22	34·09
N	3·94	1·58
Pentosan	6·47	2·59
Zellmembran	34·44 mit 4·57g Pentosan	13·78 mit 1·83g Pentosan
Zellulose	22·36	8·94
Rest	7·51	3·01
Stärke	15·09	6·0
Verbrennungswärme	412·7	165·1

	In 100 Teilen Zellmembran
Zellulose	64·92
Pentosan	13·26
Rest	21·82

Das Hauptinteresse konzentriert sich zunächst auf die Verbesserung der Gesamtausnutzung des Präparates, wie sie durch die Kalorien angezeigt wird.

Von den gefütterten 258·0 Kalorien pro Tag kamen im Kot 165·1 Kal. Davon gehen ab:

13·78 × 4·1 Kal. für Zellmembran	56·5	
0·76 × 3·9 ,, als Pentosan	3·0	
2·80 × 5·88 ,, als Protein	16·5	
6·10 × 4·18 ,, als Stärke	24·5 =	100·5 ,,
bleibt		64·6 Kal.
während im Mittel Fleischkot liefert		67·7 ,,

Hier fehlt jede Steigerung der Stoffwechselprodukte, während sie im vorhergehenden Versuch in allerdings geringem Maße nachweisbar war.

Von den gefütterten 258·0 Kalorien waren also unverdaulich 100·5 = 38·9 Prozent. Das ist wieder ein Minimalwert, weil die Verdauung durch die Fütterung des Fleisches mit besorgt wurde, also bei ausschließlicher Pülpefütterung noch besonders die Bildung von Stoffwechselprodukten eintreten müßte. Ob diese dann nur die Höhe von 67·7 Kal. der Fleischstoffwechselprodukte erreichen würden, muß dahingestellt bleiben, weil methodische Prüfungen in Nahrungsgemischen bis jetzt nicht bekannt sind.

Von der Stärke (= 28·38 g der Zufuhr) gingen 6·0 g = 21·16 Prozent verloren. Es ist danach durch das vorhergehende Kochen der Gesamtverlust der Kalorien von 47·4 auf 38·8 Prozent und der Verlust an Stärke von 37·83 auf 21·16 Prozent herabgegangen. Das Resultat ist für die Beurteilung der Pülpe als Nährmaterial entscheidend. Die Stärke hätte, wenn sie wirklich frei läge, nach dem Kochen mindestens nur mit einem Verlust von nur wenigen Prozenten verdaut werden müssen, wie aus den zahlreichen Untersuchungen an Brot hervorgeht. Das geschah aber nicht, die Verbesserung ist nur gering; also muß es sich um Stärke handeln, welche den Verdauungssäften nur schwer zugänglich ist, d. h. um Reste, die in Zellmembran eingeschlossen sind.

Zu gleicher Zeit läßt sich die Frage beantworten, ob die Zellmembran durch das Kochen und eventuell dadurch bedingte Quellen leichter verdaulich wird.

Die Verluste an Pentosan und Zellmembran stellen sich wie folgt:

	Trockenpräparat (voriger Versuch)	Gekochte Pülpe	Mittel
Pentosan	42·70	46·33	44·51
Zellmembran	44·26	49·44	46·85
Pentosan in Zellmembran . .	34·90	44·40	39·65
Restsubstanz	29·80	26·90	28·39
Zellulose	60·06	70·8	65·07

Die Unterschiede der Resorption sind also in beiden Fällen unbedeutend, am größten noch hinsichtlich der Zellulose, was aber nicht viel besagen will. Die Gesamtpentosane kommen sich auch in der Aufnahme in beiden Fällen sehr nahe. Im Mittel genommen erinnert die Verdaulichkeit der Kartoffelzellmembran etwas an die Kleie.

Das Fütterungsoptimum für die Zellmembran war im ersten Versuch nicht überschritten. Diesmal wurden im ganzen nur 14·1 g Zellmembran pro Tag resorbiert, ohne daß deshalb eine prozentig günstigere Aufnahme erfolgt wäre. Das Ergebnis steht aber mit den bei Birkenholzfütterungen mit wechselnden Mengen ganz im Einklang, d. h. die Resorption ist bei wechselnden Mengen prozentisch dieselbe innerhalb der optimalen Grenzen.

Der N-Verlust pro Tag war 1·58 g; in 100 Teilen Kot waren 7·05 g Protein an Zellmembran gebunden = 1·13 g N, d. h. für die Tagesmenge 0·452 g; dieser Wert von 1·58 g N abgezogen, gibt 1·13 g N für die Stoffwechselprodukte des Fleischkotes, was etwa den normalen Verhältnissen entspricht. Das gequollene Material hat also keinen störenden Einfluß ausgeübt und sich als günstiger erwiesen als das trocken verfütterte. Trotzdem bleibt es für den Hundedarm ein minderwertiges Material, während der Pflanzenfresser einen höheren Gewinn aus diesem Futter ziehen kann.

Nach den Angaben Kellners könnte man für die Kartoffelpülpe etwa eine Verdaulichkeit der Kalorien von rund 73 Prozent berechnen = 27 Prozent Verlust, während der Hund 38·8 Prozent bei gekochter Pülpe, bei nicht gekochter 47·3 Prozent verloren hat.

In der Zeit der Hochflut der Brotsurrogate hat man auch Kartoffelpülpe als Zusatz empfohlen, vielleicht wäre ohne den Kartoffelmangel der Vorschlag wieder aufgetaucht.

Die Kartoffelpülpe eignet sich als Zusatz zu Brot nicht. Bei dem hohen Gehalt der Pülpe an Zellmembran würde auch ein mäßiger Zusatz bereits den Gehalt an Zellmembran in einem Mehl-Pülpegemische stark anschwellen lassen und selbst bei einer Menge von 10 Teilen Pülpe zu 90 Teilen Mehl würde in diesem Gemische, wenn ein Mehl von 80 Prozent Ausmahlung vorausgesetzt wird, der Zellmembrangehalt so steigen, daß es dem Gehalt eines Vollkornbrotes gleichkäme.

Pülpe wäre minderwertiger als Kleie, zwar entspricht die Ausnutzung der Zellmembran in der Pülpe etwa jener der Kleie, aber die Stärke wird aus der letzteren, wie man selbst bei Vollkornbroten sieht, gut resorbiert, aus der Pülpe kann aber die vorhandene Stärke nur unvollkommen gelöst werden.

Außerdem ließe sich aber gar nicht sagen, daß Mischungen von Mehl und Pülpe in arithmetischem Verhältnisse ihre Eigenschaften der Verdaulichkeit vereinigen, und noch unbestimmter bleibt das Urteil über die Bekömmlichkeit für den Menschen; es steht nach meiner Erfahrung fest, daß fremde halbverdauliche Zusätze sehr leicht vom Magen aus Störungen der Gesundheit erzeugen.

c) Vergleichende Untersuchung über die Resorption reiner Stärke in verschiedener Zubereitung.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß rohe Stärke vom Speichel schlecht gelöst wird, die gequollene aber gut. Diese verschiedene Verdaulichkeit haben beide Stärkezubereitungen auch beim Durchgang durch den ganzen Darm. Genaue quantitative Versuche hierüber hat zuerst K. Thomas an der Banane angestellt.[1] Die vorhergehenden Versuche am Hunde zeigen das gleiche. Es läßt sich aber ein quantitatives Urteil nicht fällen. Zu einer ausgezeichneten Verdauung der Stärke genügt nach meinen Versuchen das Kochen der Stärke oder die Zubereitung als Brot. Die Quellung der Stärke ist die Voraussetzung der besseren Verdaulichkeit. Wieviel Wasser die Stärke aufgenommen haben muß, um leicht verdaulich zu sein, ist nicht bekannt. Die ersten Quellungserscheinungen zeigen sich bei Kartoffelstärke schon bei 50° durch die festere Bindung von Wasser.[2] Es kann auch die andere Frage aufgeworfen werden, ob gequollene Stärke, wenn sie ihr Wasser verloren hat, genau so schwer verdaulich wird wie rohe Stärke. Bedeutung kann dieser Umstand erlangen für die Verdaulichkeit stark ausgetrockneter Backwaren, die nur mehr hygroskopisches Wasser enthalten. Zur Lösung des Problems wurde die Ausnutzung von je 70 g Stärke mit 1000 g Fleisch als Beifutter wie in den früheren Versuchen durchgeführt und die Stärke im Kote direkt analytisch festgestellt.

Die Stärke wurde entweder roh oder frisch verkleistert angewandt. Für die dritte Reihe wurde verkleisterte Stärke in dünner Lage im warmen Luftstrom wieder getrocknet, gepulvert und so dem Fleisch beigemischt. Die Ergebnisse waren folgende:

Verdaulichkeit der Stärke bei verschiedener Zubereitung.

	Kot pro Tag org.	N	Pentosan	Stärke	Kal.
Rohe Stärke	25·4	1·40	0·49	9·26	120·1
Gequollene frische Stärke . . .	17·9	1·06	0·26	0·82	84·7
Gequollene und wieder getrocknete Stärke	12·64	0·70	0·26	5·79	60·9

[1] *Dies Archiv.* 1910. Physiol. Abtlg. S. 29.

[2] *Ebenda.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 202.

Verlust an Stärke in Prozenten.

Rohe Stärke	16·12
Stärkekleister	1·44
Getrockneter Kleister	8·27

Von der rohen Stärke werden 16·12 Prozent verloren, von der gequollenen nur 1·35 Prozent, die früher gequollene und wieder getrocknete wird nicht so gut verdaut wie die rohe, aber schlechter wie die gequollene. Man darf also annehmen, daß ein Teil der Stärke bei dem Trocknen eine Veränderung erfährt, die sie für die diastatischen Fermente leichter angreifbar macht. Stark ausgetrocknetes Material sinkt also bedeutend im Nährwert. Damit steht im Einklang, daß man besonders häufig bei Genuß alten harten Brotes gerade Reste der Kruste noch in den Ausscheidungen auffinden kann.

Das Kartoffelalbumin.

Als Kartoffelalbumin wurde ein Produkt geliefert, das im wesentlichen durch Eindampfen des Preßsaftes der Kartoffel erhalten ist; durch die Oxydasen wird dieser Saft bekanntlich braun bis schwarz. Über den Übergang von N-haltigen Produkten in den Preßsaft habe ich bereits früher Angaben gemacht, vor allem gehen die Amidsubstanzen in den Preßsaft über, weniger Eiweiß. Das Präparat sieht aus wie etwa Torf und hat einen sehr scharfen Geruch, so daß seine unmittelbare Verwendung zur menschlichen Ernährung ausgeschlossen war; außerdem erscheint es auch für die Mischung mit anderem Nährmaterial nicht verwendbar. Es zur menschlichen Ernährung zu verwerten, scheiterte völlig; es war keine Zubereitungsweise zu finden, die eine Aufnahme bei meinen Versuchspersonen ermöglichte.

Die Zusammensetzung war von wesentlich anderer Beschaffenheit als die bei König[1] angeführte Analyse sie aufführt.

Der Hund nahm nach kurzer Weigerung 100 g des Präparates; es wurde vorher gekocht und dann in 1000 g Fleisch verteilt, es konnte daher ein dreitägiger Versuch durchgeführt werden. (Siehe Tabelle S. 18.)

Das Präparat enthielt 5·44 Prozent N; jedenfalls bestand nur ein Teil aus Albumin, etwa 36·2 Prozent des N war weder in kochendem Wasser, noch in Alkohol oder Chloralhydrat zu lösen[2] und kann auf

---

[1] König, *Nahrungsmittel.* Bd. II. S. 855.

[2] Von den Stoffen, welche nicht Protein waren, sind etwa die Hälfte durch Phosphorwolframsäure fällbar. Im kochenden Wasser waren 43·16 Prozent des Gesamt-N unlöslich.

Kartoffelalbumin.

	In 100 g Trockensubstanz sind	88·45 g Trockensubstanz pro Tag
Asche	25·26	22·36
Organisches	74·74	66·09
N	5·44	4·83
Pentosan	0·62	0·55
Zellulose	0·42	0·36
Stärke	3·16	2·79
Kalorien	342·9	303·0

Kot.

	In 100 g Trockensubstanz sind	In 33·0 g pro Tag sind
Asche	43·11	14·33
Organisches	56·89	18·67
N	5·49	1·81
Pentosan	0·81	0·26
Zellulose	1·47	0·49
Stärke	0·60	0·20
Protein	8·43	2·92
Kalorien	301·9	99·62

Albumin bezogen werden. Etwas faserige Substanz, welche Furfurol lieferte (0·30 g Pentosan), konnte abgeschieden werden; sie deckt nicht ganz den geringen Pentosangehalt des Präparates. Der Stärkegehalt war gering. Im Kot waren 1·81 g N pro Tag, der Fleischkot lieferte sonst 1·03 g N; es fand sich aber im Kot ein in den üblichen Lösungsmitteln unlöslicher Rückstand mit 7·47 Prozent N, der pro Tag 0·468 g N ausmachte und wohl auf unresorbiertes Protein und Stärke bezogen werden muß. Nach Abzug vom Kot N 1·81 − 0·47 bleiben 1·34 g N, welche dafür sprechen, daß eine geringe Vermehrung der N-Ausscheidung vielleicht durch Darmreiz vorliegt.

Von 303·0 eingeführten Kalorien erschienen im Kot	99·62 Kal.
wovon für Fleischkot abgehen	67·7 ,,
somit bleiben nunmehr	31·9 Kal.

Außerdem wurden aber im Kot festgestellt: Zellulose, Stärke, Albumin. Die Zellmembran von der Zusammensetzung der Kartoffelmembranen muß bei 0·49 g Zellulose 1·08 g betragen haben. Wir haben also als unresorbierte Kalorienmenge dann folgende Berechnung:

Für Zellmembran 1·08 × 4·2	4·54 Kal.
„ Stärke 0·2 × 4·1	0·82 „
„ Protein 2·92 × 5·8	16·93 „
	22·29 Kal.

während 31·9 Kalorien als Überschuß über den Fleischkotkalorien gefunden wurden, = + 9·6 Kalorien. Dieser Wert liegt innerhalb der Fehlerquellen solcher Experimente.

Der gesamte Energieverlust des Präparates betrug 10·53 Prozent der Kalorien, der N-Verlust, wenn nur das Protein des Kotes in Besracht gezogen wird, 9·69 Prozent. Zur Verfütterung an Tiere wird das Albuminpräparat eine Beachtung verdienen.

Es hat also eine Mehrung von Stoffwechselprodukten nicht stattgefunden; der Gesamtverlust an Kalorien abzüglich des Fleischkotes macht 10·5 Prozent aus. Von den N-haltigen Bestandteilen sind die Nichtproteinstoffe sicher ohne Verlust aufgenommen worden; allerdings kamen im Kot noch 0·47 g N als Protein zu Verlust, die aus den gleichartigen Produkten der Einfuhr stammen. Sieht man von solchen Differenzierungen ab, so war der Gesamt-N-Verlust rund 9·7 Prozent (4·83 g Zufuhr gegenüber 0·47 g Ausfuhr). Von den Stoffen des Kartoffelalbumins ist ein erheblicher Teil unbekannt und N-freier Natur. Im Harn wurden auffällige Veränderungen nicht wahrgenommen.

Man kommt nach dem vorstehenden zu folgenden Schlüssen: Die reine Kartoffelstärke ist sehr gut resorbierbar, wenn sie in gequollenem Zustande aufgenommen wird, steht aber anscheinend nach anderen Erfahrungen der Weizenstärke in geringem Grade nach. Wird gequollene Stärke getrocknet, so verliert sie größtenteils ihre gute Resorbierbarkeit. Die Kartoffelpülpe enthält überreichlich Zellmembranen, welche ihre Verwendung zur menschlichen Ernährung ausschließt; die Stärke, welche in der Pülpe vorhanden ist, kann auch gut gequollen nur schlecht verdaut werden, mehr als doppelt so schlecht wie rohe Stärke. Die Kartoffelzellmembranen werden etwa wie Kleie verdaut, trocken oder befeuchtet bedingt bei der Zellmembran keinen Unterschied. Die Kartoffelalbuminpräparate der Technik sind für die menschliche Ernährung wegen Geschmack und Aussehen unverwendbar, im übrigen ist ihre Verdaulichkeit nicht ungünstig. Ihr N-Gehalt entspricht zu etwas mehr als einem Drittel Albuminstoffen, der Rest entfällt auf Amide. Das Albumin wird aber nicht vollkommen, aber doch sehr weitgehend verdaut.

Die gekochte Pülpe und das Kartoffelalbumin haben keinen störenden Einfluß auf die gleichzeitige Verdauung des Fleisches ausgeübt.

Weitere Untersuchungen zur Verdaulichkeit des mit Säuren aufgeschlossenen Holzmehles.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

I.

Von den verschiedenen Möglichkeiten, Holz mit Säuren aufzuschließen, mag noch ein Verfahren, bei welchem das Material mit dem $1^1/_2$fachen einer $^1/_{10}$ n-Salzsäure 30 Stunden bei 100° behandelt wird (Pauly), auf seinen Erfolg geprüft werden. Da meine früheren Versuche[1] mit Birkenholzschliff ausgeführt worden sind, so habe ich dasselbe Material wieder verwendet, um einen möglichst guten Vergleich zu gewinnen. Das Holz färbt sich bei der Behandlung etwas gelb und behielt die Farbe auch nach dem Trocknen. Nach der Behandlung ist nur ein kurzes Zermahlen nötig, um ein ganz feines Pulver zu erhalten. Die ClH war der Vorschrift gemäß nicht ausgewaschen worden, sondern einfach durch Trocknen bei 50 bis 60° größtenteils entfernt. Beim Trocknen entstand ein ziemlich scharfer Geruch, darunter sicher Essigsäure.

Ein Vergleich mit dem ursprünglichen Birkenholz zeigt folgendes Resultat:

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	Birkenholz	Birkenholz mit verd. ClH behandelt
Asche	0·64	2·73
Organisches	99·36	97·26
Pentosan	28·21	25·74
Zellmembran	91·07	68·17
Darin Zellulose	41·26	40·12
,, Pentosan	24·15	10·86
,, Rest	25·66	17·19
Lösliche Stoffe	7·59	27·72
Verbrennungswärme	458·20	443·60

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 49.

Der Versuch zeigt, daß man mit Unrecht von einer Aufschließung der Zellulose spricht, wenigstens ist die Menge der Zellulose unverändert geblieben. Verändert wurde aber die Masse der Zellmembran, was nur dadurch möglich war, daß Bestandteile, die nicht Zellulose sind, in lösliche Verbindungen übergegangen sind. Dadurch ist auch die Zusammensetzung der Zellmembran im ursprünglichen Birkenholz und in dem mit ClH behandelten Präparat eine andere geworden.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	In reinem Birkenholz	In dem mit verd. ClH behandelten Präparat
Zellulose	45·4	58·8
Pentosan	26·5	15·9
Rest	28·1	25·2

Die Zellmembran wird relativ reicher an Zellulose. Eine Veränderung des Holzes unter Einwirkung der verdünnten ClH findet also statt. Welchen biologischen Wert diese Änderung hat, kann nur direkt durch den Versuch entschieden werden. Von dem getrockneten Präparat wurden dem Hund täglich 70 g lufttrocken unter 1000 g Pferdefleisch gereicht. Die Übersicht über Aufnahme und Ausscheidungen enthält folgende Tabelle.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 68·8 g pro Tag
Asche	2·74	1·90
Organisches	97·26	66·90
N	0·22 mit 1·37g Protein	0·15 mit 0·93g Protein
Pentosan	25·74	17·71
Zellmembran . . .	68·17	46·90
Zellulose der Zellm.	40·12	27·60
Pentosan „ „	10·86	7·47
Rest „ „	17·19	11·83
Verbrennungswärme	443·6	305·2

Lösliches rund 27·72 Prozent.

	In 100 g Kot	In 75·2 g pro Tag
Asche	16·72	1·26
Organisches	83·28	62·6
N	2·56	1·82
Pentosan	9·43	6·39
Zellmembran . . .	51·64	42·51

	In 100 g Kot	In 75·2 g pro Tag
Zellulose der Zellm.	30·95	23·27
Pentosan „ „	7·81	5·87
Rest „ „	12·88	13·37
Verbrennungswärme	407·6	306·5

Als äußerlich sichtbarer Erfolg der Aufschließung wurde erreicht, daß der Kot nicht zu harten Massen verfilzt, sondern mehr bröckelig blieb. Die weiche Beschaffenheit der Birkenholzfaser verlor sich also infolge der Herauslösung bestimmter Stoffe, die den Pentosanen und Ligninen zugehören müssen, wenn nicht die Zellulose nebenbei, obschon chemisch für die Reagenzien zur quantitativen Darstellung unverändert, doch eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften angenommen hat.

Die allgemeinen Ergebnisse der Verdaulichkeit mögen kurz angereiht sein.

Die Ausnützung der Kalorien ist folgende:

Verlust im Kot	306·5 Kal.
ab für Fleischkot	67·7 „
also trifft auf das ClH-Präparat allein . . .	238·8 Kal.

Die Zufuhr war 305·2 Kalorien = 78·2 Prozent Verlust im ganzen. Pentosen waren auch im Harn vorhanden:

am 1. Tag = 0·90 g Pentosan
„ 2. „ = 1·05 „ „
„ 3. „ = 1·08 „ „

Sie waren noch nicht völlig ausgeschieden, denn an dem auf die Fütterung folgenden Tag kamen noch 0·14 g, somit treffen pro Tag 1·05 g Pentosan als Verlust im Harn. Es ist wahrscheinlich, daß auch noch andere Stoffe des Holzmehles, wenigstens in kleinen Mengen, neben Pentosen im Harn austraten. Der Verlust im Harn erhöht den Kalorienverlust um (1·05 × 3·9) 4·09 Kalorien täglich, wodurch der Gesamtverlust auf 79·6 Prozent der Kalorien sich steigert. Im Gesamtverlust ist auch eine etwaige Steigerung der Stoffwechselprodukte mit inbegriffen. Um letztere besonders festzustellen, kann man folgende Rechnung zugrunde legen:

Entleerte Kalorien		306·5 Kal.
Zellmembranen des Kotes (42·51 × 4·25)[1] .	180·8	
für gelöstes Pentosan (0·5 × 3·9)	1·9	182·7 „
bleiben		123·8 Kal.

[1] Direkte Bestimmung der Verbrennungswärme.

Es hat also eine Mehrung der Stoffwechselprodukte stattgefunden, da sonst bei Fleisch allein nur 67·7 Kalorien entleert wurden, also mehr um 56·1 Kalorien pro Tag. Damit steht im Einklang die N-Ausscheidung von 1·82 g pro Tag, während bei Fleisch allein nur rund 1·03 g N entleert wird.

Da rund 20·4 Prozent vom ClH-Präparat resorbiert wurden, = 90·6 Kalorien, so entsteht die Frage, aus welchem Anteil der Zellmembran oder den löslich gewordenen Produkten dieser Gewinn stammt.

Für die Verluste aus der Zellmembran und ihren Bestandteilen ergibt sich:

	für 100 Teile
Zellmembran	90·6
Zellulose der Zellmembran . .	84·4
Pentosan „ „ . .	78·6
Rest „ „ . .	(113·0)

Die Restsubstanz war in der Zellmembran im Kote etwas reichlicher vorhanden als in der Zufuhr; diese läßt sich nur so erklären, daß die Zellmembran durch die Verdauung eine Veränderung erfahren hat. Diese könnte sich auf eine Umwandlung eines Teiles der Zellulose beziehen, der dann für die Reagenzien zur Zellulosebestimmung löslich geworden ist. Von der Zellmembran werden im ganzen nur 4·4 Kalorien pro Tag resorbiert; die Aufnahmefähigkeit ist eine sehr geringe. Der Hauptanteil des Resorbierten muß daher aus der Aufnahme freier Pentosen aus den löslichen Produkten des Präparates überhaupt stammen.

Von den Kalorien für 100 Teile Zufuhr des Präparates = 443·6 Kalorien kann man die Kalorien der vorhandenen Zellmembranen (62·2 × 4·251) = 289·8 abziehen, dann bleiben 153·8 Kalorien für den gesamten übrigen organischen Rest = 29·1 Teile (darunter 1·37 Protein), Verbrennungswärme pro 1 g = 5·284 Kalorien, d. h. höher als die der Zellmembran.

Auf den Tag treffen 105·7 Kalorien von diesem Substanzgemisch (20·0 × 5·284) als Zufuhr.

Im Kot sind nach Abzug von 67·7 Kalorien für Fleischkot ausgeführt 238·8 Kalorien, davon gehen weiter ab 42·51 g Zellmembran mit 180·8 Kalorien u. 1·9 Kalorien pro Pentosan, also Rest 56·1 Kalorien, welche sich auf die Steigerung der Stoffwechselprodukte über das Maß des normalen Fleischkotes hinaus beziehen, von diesen kann nur die Menge der Kalorien für freie Pentosane (0·5 × 3·9) = 1·9, auf die 105·7 Kalorien, Zufuhr in Form von löslichen Produkten allenfalls bezogen werden = 1·8 Prozent Verlust.

Die löslichen Produkte sind also leicht resorbierbar und bedingen eine anscheinend bessere Gesamtresorption. Je weiter eine Aufschließung in diesem Sinne sich vollzieht, desto resorbierbarer wird auch das Präparat im ganzen werden.

Naheliegend ist die Frage, ob denn durch die Aufschließung die eigentliche Zellmembran des ursprünglichen Birkenholzes selbst eine Erhöhung der Verdaulichkeit erfahren hat. Es findet sich als Verlust:

	Bei der Birke	Bei dem Präparat Pauly
Zellmembran	55·84	90·6
Zellulose	60·78	84·4
Pentosan	46·31	78·6
Rest	98·5	(113·0)

Die sogenannte Aufschließung hat sonach zwar durch Bildung löslicher Produkte ein Material geschaffen, das leicht resorbierbar ist, die eigentliche Zellmembran ist aber beim ursprünglichen Birkenholz viel leichter resorbierbar als bei dem aufgeschlossenen Präparat. Auch wenn man nur den Kalorienverlust bei Birkenholz und dem mit ClH aufgeschlossenen Präparat vergleicht, sieht man, daß das unveränderte Holz leichter verdaulich ist als das letztere:

Bei Birke werden verloren an Kalorien 63·4 Prozent, bei Präparat Pauly 79·6 Prozent.

Die Aufschließung der Zellmembran ist also im gegebenen Falle völlig zwecklos, da sie keinen Erfolg erzielt und die Zellmembran schwerer verdaulich macht.

Die in Wasser löslichen Produkte halten in alkalischer Lösung fast kein Kupferoxydhydrat in Lösung. Es bildet sich beim Kochen auch wenig Kupferoxydul, mit Phloroglucin-ClH in der Kälte färbt sich die Lösung und wird nach dem Abblassen in der Wärme nochmals rot.

Nach diesen allgemeinen Erfahrungen über die neue Modifikation der sogenannten Aufschließung von Holz hätte es keine Berechtigung, weiter auf die Prüfung des Präparates zur Ernährung des Menschen einzugehen. Doch habe ich Anlaß genommen, persönlich im Mai 1917 mehrere Tage das Kriegsbrot in meiner Kost durch solches Brot mit aufgeschlossenem Holzmehl zu ersetzen, obschon solche Experimente nicht immer spurlos an meinem Magen vorübergegangen sind. Das Brot, durch Mischung von Mehl mit 60 Prozent Ausmahlung unter Zusatz von 20 Prozent aufgeschlossenem Holzmehl hergestellt, war viel dunkler wie solches aus Mehl gleicher Ausmahlung ohne Holzmehlzusatz; es war kleinblasig, aber nicht feucht oder speckig. An manchen Stellen waren kleine Holz-

fäserchen mit bloßem Auge zu sehen. Auffallend schneller trocknete es aus, wobei es so hart wurde, daß das Messer schwer hindurchdrang. Beim gründlichen Kauen schmeckte weder Kruste noch Rinde wirklich gut, wie es bei Mehl von 60 Prozent Ausmahlung sein müßte. Beim Essen und nach demselben hat man ein kratziges Gefühl im Halse. Es bläht nicht weniger als das schlechte Kriegsbrot und gibt einen äußerst trockenen festen Kot.

Von einer besonderen Sättigung ist keine Rede, wenn man nicht etwa den Begriff Sättigung damit verwechselt, daß man wegen der Härte und Zähigkeit des Brotes keine Neigung haben wird, viel davon zu essen. Auch beim Eintauchen des Brotes in Flüssigkeiten (Kaffee, Tee, Fleischbrühe) fehlt der würzige Geschmack und Geruch. Ähnliche Beobachtungen habe ich auch bei anderen Zusätzen zu Brot gemacht, von denen man hätte annehmen sollen, daß sie sich wenigstens nur indifferent verhalten.

II.

Unter Bezugnahme auf die Untersuchungen, die in diesem Archiv, Jahrgang 1916, S. 40, bereits die Einwirkung der Salzsäure auf das Holz zum Gegenstand gehabt haben, ist es jetzt möglich, sich eine nähere Vorstellung von der Wirksamkeit derartiger Aufschlußverfahren, insoweit sie Salzsäure in wässeriger Anwendung oder in Dampfform benutzen, zu machen. Bei der Behandlung mit Salzsäuredampf in der Kälte hatte ich festgestellt, daß dabei eine allmähliche Verfärbung des Birkenholzmehles eintritt, erst wird es gelblich, dann werden verschiedene braune Töne bis zu schwarzer Färbung, ähnlich wie Tierkohle, erhalten.

Die Farbe gibt einen annähernden Anhaltspunkt für den Grad der Einwirkung, zwei Prozesse hat man zu unterscheiden.

Läßt man die Salzsäure nur bis zu schwacher Einwirkung gehen, so bleibt die Zellulose selbst unberührt, von einer Aufschließung der Zellulose kann dabei nicht die Rede sein. Daneben entstehen aber in Wasser und Alkohol lösliche Produkte mit brauner Färbung, welche, von Säure befreit und eingedickt, eine schwarze Masse darstellen, vielleicht also nichts anderes sind, als jene schwarzen Produkte, welche bei langer Einwirkung der Salzsäure die ganze Holzmasse in Kohle zu verwandeln scheinen. Zieht man das Holz vorher mit Ammoniak in der Wärme aus, so verfärbt es sich nachträglich mit ClH-Dampf nicht mehr. Da die Lignine dabei in Lösung gehen, so könnten letztere das zuerst angegriffene Material darstellen, doch werden auch Pentosane durch NH_3 in Lösung gebracht. Als Produkt einer solchen schwachen Einwirkung von

Wasserdampf und Salzsäuredampf ist das Schwalbesche Holzmehl zu betrachten. Das unveränderte Material hierzu kam nicht in meine Hände. Die Zusammensetzung des aufgeschlossenen Materials entspricht aber ganz den oben gegebenen Schilderungen.

In diesem Präparat treten auch in erheblicher Menge in Wasser und Alkohol lösliche Produkte auf, die in dem ursprünglichen Holz wenigstens nicht in gleichem Umfang vorhanden gewesen sein können. Sie betragen 25·4 bis 25·1 Prozent, also nicht weniger als ein Viertel der ganzen Masse. Damit wird der Verdaulichkeitscharakter des Produktes wesentlich verändert. Sie erklären auch hier, wie schon oben S. 24 näher zahlenmäßig dargelegt ist, die Resorbierbarkeit, während die Zellmembran selbst geradezu recht ungünstig verwertet wird. Der Verlust war 67·3 Prozent für die Gesamtkalorien, zum Teil bedingt durch Mehrung der Stoffwechselprodukte, welche die sonst begünstigste Resorption durch die in Wasser löslichen Produkte wieder etwas ausgleichen. Der Verlust der Zellmembran selbst war 67·7 Prozent, während z. B. unverändertes Birkenholz nur 55·8 Prozent Verlust gibt.

Wie die Spaltung des Holzes im einzelnen verläuft, läßt sich genau bei dem Präparat Pauly verfolgen, bei welchem ich das Ausgangsmaterial und die Endprodukte nach denselben Methoden untersucht habe.

	Birkenmehl In 100 Teilen	In 100 Teilen organisch	Im Präparat Birkenmehl nach Pauly	Differenz
Asche	0·64	—	—	—
Organisches	99·34	100	100	—
N	0·11	0·12	0·27	+ 0·52 (Prot.)
Pentosan	28·21	28·44	26·45	− 1·99
Zellmembran	91·07	91·64	70·07	−21·61
Zellulose	41·26	41·54	41·23	− 0·31
Pentosan	24·15	24·31	11·16	−13·15
Rest	25·66	25·83	17·68	− 8·15
Verbrennungswärme	458·2	461·2	455·9	− 5·3
Löslich	—	7·58	28·56	+20·98

Die Zahlen sind auf organische Substanz umgerechnet, weil kleine Differenzen im Aschegehalt vorlagen. Faßt man das Gesamtresultat der Veränderungen zusammen, wie es in der Verbrennungswärme sich ausdrückt, so sind diese äußerst gering, denn

1 g Birkenholz liefert . . . . 4·612 kg-cal.
1 g aufgeschlossenes Holz liefert . . . . . 4·559 kg-cal.

Verloren ging etwas Pentosan, letzteres wird durch Säuren leicht verändert und über Furfurol weiter gespalten; einer solchen Spaltung entspricht auch ungefähr der hier gefundene Verlust an Verbrennungswärme. Im übrigen treten kaum Stoffe aus. Von der Zellmembran wird erheblich viel löslich und liefert die in Wasser und Alkohol aufnehmbaren Produkte. Die Zellulose wird aber nicht aufgeschlossen, wenigstens nicht im Sinne einer Veränderung ihrer wesentlichen Eigenschaften, die Pentosane wurden zu mehr als zur Hälfte aus der Zellmembran herausgenommen, dazu noch Substanzen, die vielleicht Hexosane und Ligninsubstanzen sind, denn sie entstammen dem „Rest", d. h. hauptsächlich in Ammoniak löslichen Gruppen. Dies Verhalten zeigt, daß Pentosane und Restsubstanzen zum erheblichen Teile so in der Zellmembran verteilt sein müssen, daß sie für die benetzende verdünnte Säure leicht zugänglich sind.

Über die Zusammensetzung der löslichen Substanzen besagt der Versuch mit verdünnter ClH folgendes: Ursprünglich waren im Birkenholz 7·58 Teile Lösliches mit 4·13 g Pentosan, d. h. mit 54·5 Prozent von letzterem. Durch Salzsäure wurden gelöst 28·56 Teile, wozu noch 1·99 Teile Pentosan kommen, welche zerstört wurden = 30·55 Teile. In diesen waren gelöst inklusive des zerstörten Pentosan 17·28 g, ab 7·58 g ursprünglich Gelöstes und 4·13 g Pentosan, bleiben 22·97 g gelöst durch Säurewirkung mit 13·15 g Pentosan = 57·1 Prozent Pentosan.

Die aufgelöste Substanzmischung ist also ganz ähnlich der schon vorher in Wasser und Alkohol löslichen Substanz und besteht aus etwa mehr als der Hälfte Pentosan. Dies Gemisch ist, wie oben gezeigt wurde, leicht resorbierbar.

Wahrscheinlich entfalten diese Spaltungsprodukte aber nebenbei teils einen nachteiligen Reiz auf den Darm, teils auch eine desinfizierende Wirkung, denn die starke Verminderung der Zelluloseverdaulichkeit und der Zellmembranverdaulichkeit überhaupt weist auf eine Schädigung der Bakterienflora hin. Da stets Pentosane durch Säuren angegriffen werden, so ist die Bildung von Furfurol möglich, dieses aber bekanntlich eine Substanz, die schon in kleinen Mengen reizend auf die Schleimhaut wirkt.

Läßt man Salzsäuredampf sehr lange einwirken, so kommt es zu einer weitgehenden Zerstörung der Zellulose und Pentosane. Die Substanz sieht jetzt aus wie Ruß. Ein Vergleich des Ausgangsmaterials und der Endprodukte ergibt für 100 Teile:

	Birkenholz	Mit ClH-Dampf behandelt	
Asche	2·6[1]	2·62	—
Organisches	97·4	97·38	—
Pentosan	31·9	9·61	—22·3
Zellmembran	94·4	70·66	—23·7
Zellulose der Zellm.	35·2	24·35	—10·9
Pentosan „ „	25·0	3·43	—21·6
Rest „ „	34·2	42·88	+ 8·7
Verbrennungswärme .	400·9	398·5	—
Lösliches[2]	2·8	26·72	+23·9

Die Zerstörung betraf Pentosane, aber auch die Zellmembran, und daraus entstanden Produkte, welche die Restsubstanz der Zellmembran und vor allem die löslichen Produkte vermehren, die aber nur etwa 23 Prozent Pentosan enthalten.

Ein Vergleich der Zusammensetzung der Zellmembran ergibt für 100 Teile:

	Im Holz	Im ClH-Präparat
Zellulose	37·29	34·46
Pentosan	26·48	4·86
Rest	36·23	60·68

Die Produkte, welche die Restsubstanzen ausmachen, haben bei dem ClH-Präparat eine weit höhere Verbrennungswärme als Zellulose und Pentosane und sind verdaulicher wie jene nach schwacher Einwirkung der ClH (1 g Organisches = 4·763 Kalorien).

Verluste.

	Bei Birke	Bei Aufschluß in ClH-Dampf
An Zellmembran . .	55·8	67·7
„ Zellulose	60·8	100·0
„ Pentosan	46·3	86·6
„ Restsubstanz . .	98·5	40·4

Hier kann man zwar bis zu einem gewissen Grad von einer Aufschließung der Zellmembran sprechen, wobei sicher Zellulose auch verdauliche Spaltprodukte geliefert hat, aber die Zellulose selbst ist noch

[1] Auf gleichen Aschegehalt gerechnet; einzelne Proben des anscheinend gleichen Materials hatten schwankenden Aschegehalt.

[2] Organisches abzüglich Zellmembran.

unverdaulicher wie bei reinem Birkenholz oder bei wenig mit Säure aufgeschlossenem Holz (nach Pauly). Der Gesamteffekt der Aufschließung ist, obschon reichlich wasserlösliche Produkte entstanden sind, geringer als im ursprünglichen Holz (73·0 Prozent Kalorienverlust gegenüber 63·4).

Die Versuche, Holz durch Säurebehandlung zu einem verwertbaren Nährstoff zu machen, sind demnach ohne Erfolg gewesen. Die auftretenden Spaltprodukte rühren bei den gebräuchlichen Verfahren nicht aus der Zellulose, sondern von ihren Begleitsubstanzen her und benachteiligen die Resorption in mäßigem Grade durch Vermehrung der Stoffwechselprodukte und behindern die Auflösung der Zellulose im Darm wahrscheinlich durch Störung der bakteriellen Prozesse. Daß die Präparate nicht noch ungünstiger verwertet werden, verdanken sie dem in Wasser und Alkohol löslichen Anteil, der ihnen durch Spaltung der Begleitsubstanzen der Zellulose, bei starker Säureeinwirkung allerdings auch aus den Produkten der Zellulosezerstörung, zufließt. Man könnte bei diesem Verfahren der Aufschließung mit voller Berechtigung nur die löslichen Produkte als das Entscheidende ins Auge fassen, denn sie sind offenbar wichtiger als ungelöste Anteile der Zellmembran. Dies würde dann weiter zu dem Gedanken der Isolierung dieser Produkte führen, ein Verfahren, das wegen der Umständlichkeit und den geringen Erträgnissen, auch wohl der äußeren Beschaffenheit der Produkte wegen nicht wohl als aussichtsreich angesehen werden kann.

Über das Verhalten von Fischen gegen Wasserschwingungen.

Von

Prof. R. du Bois-Reymond

in Berlin.

Die Frage, ob die Fische hören, ist bekanntlich viel umstritten. Die Entscheidung ist dadurch erschwert, daß erstens keine scharfe Scheidung zwischen Schallschwingungen und anderen Erschütterungen besteht, und daß zweitens aus dem Verhalten der Fische nicht immer mit Sicherheit zu erkennen ist, ob sie einen Reiz wahrgenommen haben oder nicht.

Den zweiten Fall hat namentlich Yerkes bei seinen Untersuchungen über das Hören der Frösche hervorgehoben. Er sagt: ,,Auf die Frage nach dem Hörvermögen der Frösche bin ich erst dadurch gekommen, daß es mir gelegentlich einer Arbeit über die Reflexzeit des Wasserfrosches durchaus nicht gelingen wollte, eine Reaktion auf Schallreiz zu erhalten."

Yerkes bezweifelt dabei keinen Augenblick, daß die Frösche vortrefflich hören, denn er führt als Beweis dafür an, daß sie sich, wie jedermann weiß, beim Quaken nacheinander richten. Ferner erwähnt er auch, was jeder, der mit Fröschen in ihrer natürlichen Umgebung zu tun gehabt hat, bestätigen wird, daß sie, wenn erst einer ins Wasser gesprungen ist, nicht mehr am Ufer sitzend zu überraschen sind. Da dies auch in solchen Fällen geschieht, wo einer den anderen nicht sehen kann, muß geschlossen werden, daß sie das Plumpsen gehört haben.

Die Untersuchung von Yerkes gilt daher überhaupt nicht der Frage, ob die Frösche hören, sondern ob die Frösche auf Schall reagieren. Hier kommt er zu folgendem Ergebnis:

,,Mit einer ganzen Reihe verschiedener Geräusche, die der Höhe nach von einem tiefen Ton, wie das Quaken eines Ochsenfrosches, bis zu einem schrillen Pfiff, und der Stärke nach vom Fallen eines Steinchens bis zum Knall einer Pistole abgestuft waren, wurden Versuche gemacht, die Einwirkung auf Frösche in ihrer natürlichen Umgebung festzustellen. Auf keinen einzigen Schallreiz habe ich je eine Bewegung erfolgen sehen."

Im weiteren Verlauf seiner Abhandlung beschreibt dann Yerkes[1] eine Reaktion auf Schallreiz, die nicht in Bewegung, sondern im Gegenteil in Bewegungshemmung besteht, und deutet an, daß der Schalleindruck nach Art eines Warnungszeichens das Tier in einen regungslosen ,,Bereitschaftszustand" versetzen könne.

Dieselben Anschauungen spricht Puetter[2] aus, wenn er sagt:

,,Wir schließen auf den Eintrit eines Erregungszustandes in Sinnesorganen meist aus der motorischen Reaktion, die derselbe auslöst.

Im positiven Fall ist dies Kriterium ja ohne weiteres brauchbar, bei negativem Ausfall wird aber die Frage zu erörtern sein, ob das Ausbleiben des Erfolges wirklich auf einer Unfähigkeit beruhte, den Reiz in einem Sinnesorgan zu rezipieren oder ob in dem zentralen oder motorischen Teile des Reflexbogens Bedingungen gegeben waren, die einen äußerlich sichtbaren Effekt nicht zustande kommen ließen, bzw. ob sich der motorische Apparat in einem besonderen Zustand befinden muß, um die motorische Reaktion zu ermöglichen."

Demnach ließe sich sehr wohl annehmen, daß bei den Versuchen über das Hören der Fische derselbe Fall vorliege wie bei den Versuchen, über die Yerkes berichtet hat: daß nämlich, um mit Puetter zu reden, die Fische den Schallreiz zwar rezipieren, ihr motorischer Apparat sich aber nicht in dem Zustande befindet, der eine motorische Reaktion ermöglicht. Dabei wäre nach meiner Auffassung noch hervorzuheben, daß weder Yerkes noch Puetter einen Unterschied zwischen motorischer Reaktion und Reflex machen, obwohl doch nicht jede Bewegung auf Schalleindruck notwendig eine Reflexbewegung zu sein braucht. Ich möchte glauben, ein eigentlicher Reflex auf Schallreiz werde sich bei den Fischen schon deswegen nicht haben ausbilden können, weil die Schalleindrücke ihnen nur in seltenen Fällen unmittelbar drohende Gefahr anzeigen dürften. Es kommt für die Fische ganz auf die Bedeutung des Geräusches an.

Ähnlich äußert sich Edinger[3] dahin, daß bei diesen Versuchen hauptsächlich auf die Wahl des Schallreizes Gewicht gelegt werden müsse: ,,So scheint mir heute die Frage nicht mehr: Hören die Fische?, sondern: Was hören die Fische? Zu ihrer Beantwortung muß man biologische und nicht fremdartige physikalische Reize anwenden."

Die Beobachtung, über die ich berichten will, entspricht zwar durch-

---

[1] Yerkes, The Sense of Hearing in Frogs. *Journ. of Comp. Neurol. and Psychol.* 1905. Vol. XV. p. 279.

[2] Puetter, *Vergl. Physiol.* Jena 1911. S. 605.

[3] Edinger, Über das Hören der Fische usw. *Zentralbl. f. Physiol.* 1908. S. 1.

aus nicht dieser Forderung, sie zeigt aber sehr deutlich, daß nicht jeder Schallreiz geeignet ist, erkennbare Reaktionen hervorzurufen.

Zu technischen Zwecken, die hier nicht in Betracht kommen, werden Vorrichtungen gebaut, in denen Stahlplatten von 6 mm Dicke und etwa 45 cm Durchmesser durch einen Elektromagneten, der mit dem Strom einer dynamoelektrischen Maschine betrieben wird, in Schwingungen von ungefähr 0·1 mm Amplitude versetzt werden. Die Frequenz der Schwingungen betrug in unserem Falle gegen 1000. Die Amplitude war, da die Maschine nicht den vollen Strom gab, nur einige Hundertstel Millimeter. Die Schwingungen der Platte in Luft sind dem menschlichen Ohr weithin als ein hoher Ton vernehmbar. Der Klang ist dem einer ziemlich hohen Dampfpfeife oder dem Quietschen der Straßenbahn in der Kurve sehr ähnlich. Dasselbe Geräusch, nur etwas weniger laut, entsteht, wenn die Stahlplatte unter Wasser schwingt. In diesem Falle pflanzt sich der Schall unter Wasser fort und geht auch in die Luft über.

Zufällig bot sich mir die Gelegenheit, das Verhalten von Fischen zu beobachten, die sich in einem See freiwillig in der Nähe der schwingenden Stahlplatte aufhielten.

Die Platte war mit ihrer Außenfläche nach oben durch eine brunnenschachtartige Öffnung unter den Boden eines Schiffes herabgelassen worden, so daß sie sich etwa 0·8 m unter dem Wasserspiegel und 0·2 m unter dem Schiffsboden befand. Die Klarheit des Wassers und seitlich einfallendes Sonnenlicht gestatteten, selbst auf dem Grunde in 2 m Tiefe deutlich zu sehen. Unter dem Schiffsboden standen immer kleine Barsche in großer Zahl, die fortwährend die Lücke im Schiffsboden durchkreuzten.

Jedem, der eine Weile zusah, mußte auffallen, daß die Fische sich gar nicht darum zu kümmern schienen, ob die Stahlplatte in tönender Schwingung war oder nicht. Da aber schon einige Monate lang die Vorrichtung an derselben Stelle wiederholt in Tätigkeit gewesen war, durfte man annehmen, die Fische seien völlig daran gewöhnt.

Trotzdem war zu erwarten, daß sie nicht ganz unerregt bleiben könnten, wenn der durchdringende Schall unmittelbar in ihrer nächsten Nähe plötzlich losbräche. Um dies erproben zu können, wurde ein Schalter unmittelbar neben dem Schacht auf dem Schiffe angebracht, so daß man die Fische beobachten und im geeigneten Augenblick den Strom einschalten konnte, der die Platte zum Tönen brachte. Um die Fische anzulocken, wurden einige Regenwürmer auf der Platte selbst ausgestreut.

Selbst unter diesen Bedingungen blieb aber das Ergebnis der Beobachtungen völlig negativ. Wenige Zentimeter über der Platte schwammen die Fische ruhig und langsam hin, obgleich der Strom plötzlich eingeschaltet

wurde und der Schall, wie der einer Dampfpfeife, einen Kilometer in der Runde zu hören war.

Der Gesamteindruck aus meinen Beobachtungen, wie er an Ort und Stelle niedergeschrieben wurde, war folgender:

„Gruppen und einzelne Fische, die unten herumschwimmen, verhalten sich ganz gleichgültig. Die, die höher schwimmen, scheinen allmählich zu reagieren, in der Weise, als sei ihnen der Eindruck unheimlich. Da sie aber an dieser Stelle überhaupt vorsichtiger sind, ist das nicht maßgebend. Auch unmittelbar über der Platte fliehen sie nicht reflektorisch, wenn eingeschaltet wird.“

Man könnte fragen, was hieran Auffallendes sei, da doch schon des öfteren die Fische überhaupt für taub erklärt worden seien. Das Auffällige liegt darin, daß es sich in diesem Falle um einen Reiz von ganz überwältigender Stärke gehandelt hat. Frühere Untersucher waren meist ängstlich darauf bedacht, jede Erschütterung des Wassers durch die Schallquelle zu vermeiden. In unserem Fall war der Schall so stark, daß er, wie gleich berichtet werden wird, eine sehr merkliche Erschütterung des Wassers verursachte, und trotzdem waren die Fische anscheinend ganz gleichgültig dagegen.

Wenn man beim Schwimmen, 5 m und weiter von der Schallquelle entfernt, die Ohren unter Wasser brachte, war der Ton so laut, daß es unangenehm war, ihn länger als einige Sekunden zu ertragen. Schon daraus ließ sich ermessen, daß in unmittelbarer Nähe der Platte ein außerordentlich starker Eindruck entstehen müsse. Tatsächlich fühlte ich mich, als ich nahe an der tönenden Vorrichtung den Kopf unter Wasser steckte, sogleich genötigt, wieder aufzutauchen. Die Empfindungen, die mich dazu zwangen, sind schwer zu beschreiben: ein dröhnendes und zugleich schneidendes Geräusch machte den ganzen Kopf erzittern und erweckte die Vorstellung, als würden Teile des Schädels gewaltsam gegeneinander verschoben und insbesondere die Zähne des Oberkiefers aus ihren Alveolen herausgeschüttelt. Da unter diesen Umständen ersprießliche Selbstbeobachtung nicht möglich war, gab ich diese nach einigen Proben auf.

Daß bei diesem Eindruck nicht nur die Schallempfindung, sondern auch die Erschütterung durch Wasserwellen mitwirkte, ergibt sich aus folgenden weiteren Beobachtungen: wenn man die Hände etwa 30 cm über der inzwischen der Wasseroberfläche auf etwa 50 cm genäherten schwingenden Platte ins Wasser brachte, fühlte man ein starkes Prickeln wie von Faradischem Strom. Es handelte sich aber nicht etwa um vagabundierende Ströme, denn die ganze Vorrichtung war äußerst sorgfältig isoliert und in wochenlangem Gebrauch genau geprüft. Die Emp-

findung rührte vielmehr davon her, daß beim Eintauchen die Hände nicht vollständig benetzt waren und daß an allen Stellen, wo eine Luftschicht an der Haut haftete, die Schallschwingungen des Wassers Verschiebungen der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser bewirkten, die dann die prickelnde Empfindung hervorriefen.

Stellte ich mich im Wasser mit bloßen Füßen auf die schwingende Platte, so fühlte ich erstens die Schwingungen der Platte selbst und außerdem entstanden alsbald in dem zwischen Fußsohlen und Platte eingeschlossenen Wasser Luftblasen, die die beschriebene Empfindung, ähnlich dem Prickeln eines Faradischen Stromes, hervorbrachten.

Sobald durch längeres Eintauchen die Haut vollständig benetzt war, war von der Erschütterung des Wassers nichts mehr wahrzunehmen.

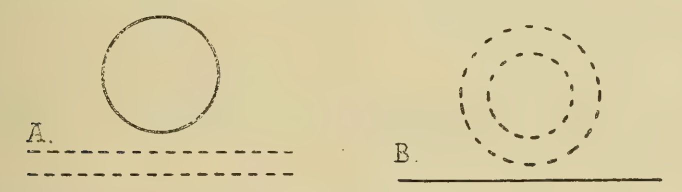
Bestünde der Körper der Fische, ebenso wie die Hand des Menschen, ausschließlich aus wasserhaltigem Gewebe, so könnte man annehmen, daß die Fische von den Schallwellen ebensowenig fühlen wie die benetzte Hand. Da aber der Fisch eine Schwimmblase enthält, so müssen so starke Schallwellen, wie die in unserem Fall, sich dem Fisch ebenso bemerkbar machen wie dem Menschen, der Luftblasen an der Hand hat. Dies ist nicht bloß eine theoretische Spekulation, sondern die Vorgänge an der Grenzfläche von den Luftblasen im schwingenden Wasser sind an mehreren höchst überraschenden Erscheinungen überaus deutlich zu bemerken.

Kleine Luftblasen, von Erbsen- oder Kirschkerngröße, verhielten sich in dem schwingenden Wasser ganz anders als gewöhnliche Luftblasen. Sie sahen nicht glänzend durchsichtig aus, sondern neblig oder milchig trübe, und sie perlten nicht zur Oberfläche hinauf, sondern strebten an feste Gegenstände, wie die schwingende Platte unter ihnen oder die Hände und andere Körperteile des Beobachters, heranzustrudeln, an denen sie dann festklebten. Man konnte infolge dieses sonderbaren Verhaltens die Luftblasen wie Stücke einer schleimigen Masse zwischen den Fingern halten und aus einer Hand in die andere nehmen. Die Druckempfindung, die eine kirschkerngroße milchweiße Luftblase auf der darunter befindlichen Handfläche hervorrief, war etwa der zu vergleichen, die ein gleich großer Tropfen Quecksilber verursachen würde.

Alle diese Erscheinungen sind darauf zurückzuführen, daß die Schallschwingungen des Wassers beträchtliche Volumschwankungen und Formänderungen an den Luftblasen hervorbringen, indem sie sie gleichsam „pulsieren“ machen. Bei dieser fortwährenden schnellen Verschiebung kann natürlich die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft nicht scharf gesehen werden, und die Luftblase muß daher neblig oder trübe erscheinen.

Hierbei sind übrigens sicher noch andere Bewegungen im Spiele als bloße Pressung und Entlastung. Wenn nämlich die schwingende Platte nahe an die Oberfläche des Wassers gebracht wird, entstehen auf der Oberfläche Kräuselungen, die augenscheinlich größere Amplituden haben als die Platte selbst. Ähnliches mag bei den Luftblasen stattfinden, so daß ihre Oberfläche in verhältnismäßig sehr starke Bewegung kommt.

Der Umstand, daß die Luftblasen nicht aufsteigen, sondern sich an feste Oberflächen anzudrücken streben, beruht offenbar auch auf der „Pulsation" der Luftblasen und bildet ein Seitenstück zu den Erscheinungen, die vor 18 Jahren Hensen[1] entdeckt hat. Hensen zeigte, daß schwingende Flächen in Wasser oder Luft feste Körper, die sich in ihrer Nähe befinden, selbst gegen beträchtliche Widerstände an sich heranziehen. Diese Angabe paßt nur auf einen Teil der im vorstehenden beschriebenen Vorgänge. Die von Hensen entdeckte Anziehung der schwingenden Platte kann dem Auftrieb der Luftblasen das Gleichgewicht halten und verhindern, daß sie zur Oberfläche emporsteigen. Das würde auch der Fall sein können, wenn die Luftblasen nicht pulsierten. Durch das Pulsieren aber erhalten, wie mir scheint, die Luftblasen außerdem die Eigenschaft, sich festen Flächen gegenüber so zu verhalten, wie in Hensens Versuchen der feste Körper gegen die schwingende Platte (vgl. beistehendes Schema). Nach dieser Hypothese wäre die „Klebrig-



A. Fester Körper und schwingende Platte. B. Pulsierender Körper und feste Platte.

keit" der Luftblasen im schwingenden Wasser ein weiterer Beweis für ihre Pulsation.

Nachzutragen wäre noch, daß die beschriebenen Erscheinungen nur an Luftblasen von etwa der angegebenen Größe zu beobachten waren. Drückte man mit der hohlen Hand größere Luftmengen unter Wasser, so entwich der größte Teil in der gewöhnlichen Weise an die Oberfläche, und es blieb nur ein kleiner Teil in „milchiger" Form zurück.

---

[1] Hensen, Über die akustische Bewegung in dem Labyrinthwasser. *Münchener med. Wochenschr.* 1899. S. 444.

Wenn an der Grenzfläche von schwingendem Wasser und Luft so deutlich merkbare Verschiebungen auftreten, ist es unverständlich, daß die Fische davon keine Wahrnehmung haben sollten. Um mir darüber ein Urteil zu bilden, machte ich den Versuch, mich selbst mit dem ganzen Körper der stärksten Einwirkung der Schallwellen auszusetzen, um zu erfahren, ob sich die grob mechanische Wirkung der Schwingungen bemerkbar mache. Ich legte mich in rückwärts geneigter Stellung über der schwingenden Platte ins Wasser und empfand sogleich eine eigentümlich zusammenschnürende Erschütterung im unteren Teil der Wirbelsäule. Beim Ausschalten des Stromes verschwand sie sogleich und kehrte beim Einschalten wieder. Bei Wiederholung dieser Probe glaubte ich zu spüren, daß die Empfindung von einer Erschütterung der Baucheingeweide, insbesondere des untersten Teiles des Colon, herrühre, die, nachdem mir einmal diese Lokalisation bewußt geworden war, immer deutlicher wurde. Die Empfindung entsprach ganz der bei dem sogenannten „Gurren" des Darmes. Sie entstand und verschwand regelmäßig mit dem Einschalten und Ausschalten des Stromes, der die Stahlplatte in Schwingungen versetzte. Offenbar wurde also durch die Schwingungen des umgebenden Wassers eine „Pulsation" der im Darm eingeschlossenen Gasblasen herbeigeführt.

Entsprechende Einwirkungen auf den Luftraum in den Lungen konnte ich nicht wahrnehmen, doch mag dies daran liegen, daß ich die Brust der schwingenden Platte nicht so nahebringen konnte wie den unteren Teil des Leibes.

Sehr auffällig war nun, daß selbst bei den Versuchen, in denen der Schalter wiederholt geöffnet und geschlossen wurde und dementsprechend das Gefühl des „Gurrens im Leibe" wiederholt hervorgerufen wurde, jedes sinnliche Gefühl für den Zusammenhang so gänzlich fehlte, daß die Erschütterung durchaus nur als ein innerer Vorgang zum Bewußtsein kam. Die „exzentrische Projektion", die sonst eine so große Rolle in der subjektiven Deutung von Sinneseindrücken spielt, versagte hier ganz und gar.

Darin scheint mir ein Fingerzeig zu liegen, wie die Unerregbarkeit der Fische gegen so mächtige Einwirkungen wie die der beschriebenen Schallwellen zu erklären sein mag. Ganz in Wasser eingeschlossen, machen sie dessen Schwingungen gewissermaßen ganz mit, und nehmen die daraus entstehenden Sinneseindrücke nur als innere Vorgänge wahr. Daß ein innerer Vorgang keine Reaktion, keine Fluchtbewegungen auslöst, ist klar.

Über den Gang mit künstlichen Beinen.

Von

Prof. **René du Bois-Reymond**
in Berlin.

Erster Abschnitt:

Beschreibung des Untersuchungsverfahrens nebst einer Bemerkung zur Lehre von dem normalen Gange.

1. Zweck der Untersuchung.

Man kann darüber streiten, ob die Gangbewegung von Amputierten mit künstlichen Prothesen ein Gegenstand pathologischer oder physiologischer Forschung ist. Es wird dabei darauf ankommen, in welchem Maße die künstlichen Beine die natürlichen ersetzen können. Je vollkommener das geschieht, desto mehr wird sich der ganze Vorgang dem normalen physiologischen Gehen annähern. Die Untersuchung lehrt nun zwar, daß sich diese Annäherung in gewissen Grenzen hält, aber sie führt zugleich auf einige Tatsachen, die unstreitig ins Gebiet der Physiologie fallen und die ganze Untersuchung als eine physiologische kennzeichnen.

Um den Gang der Kunstbeinträger zu beurteilen, hat man sich bisher im allgemeinen nur des einfachen Anschauens befleißigt. Es kann aber kein Zweifel darüber sein, daß dies Verfahren sehr wenig geeignet ist, die Gehbewegungen so zu erkennen, wie sie wirklich sind. Dies hat sich in der Geschichte der Forschung wiederholt unverkennbar erwiesen. Ausgezeichnete Beobachter, wie Colin, H. Munk und andere, haben sich, sogar mit Zuhilfenahme von allerhand Kunstgriffen, bemüht, die Reihenfolge zu bestimmen, in der das Pferd beim Galoppieren die Beine bewegt, und sind nicht zum Ziel gekommen. Die Gebrüder Weber, die mit bewundernswertem Eifer und Fleiß die Gehbewegungen des Menschen zu erforschen trachteten, haben in wesentlichen Punkten den wahren Tatbestand verkannt. Als die Augenblicksphotographie zuerst die wirklichen

Stellungen galoppierender Pferde und gehender Menschen enthüllte, herrschte allgemeines Erstaunen. Noch heute fallen die Stellungen der gehenden Menschen etwa auf Augenblicksaufnahmen belebter Straßen jedem Beschauer auf. Was von der Untersucdung des normalen Ganges gilt, betrifft natürlich auch den Gang der Kunstbeinträger. Dies wird auch allgemein zugestanden. Gocht führt z. B. das Urteil Astley Coopers an, daß es unmöglich sei, bei gewöhnlichem Gange zu unterscheiden, ob sich das Fußgelenk bewege oder nicht.[1] Man wird also die Abweichungen des Kunstbeinganges vom normalen Gang, die Unterschiede, die durch verschiedenen Bau der Kunstbeine bedingt werden, und die individuellen Eigentümlichkeiten des Ganges nur durch besondere Hilfsmittel für die Beobachtung, am besten durch ein potogrammetrisches Verfahren feststellen können.

2. Der „dynamometrische Steg“ von Amar.

In Frankreich, wo, ebenso wie hier, wegen der großen Zahl der Kriegsverletzten zurzeit zahlreiche Techniker und Ärzte sich mit der Verbesserung der künstlichen Glieder beschäftigen, hat man dies anscheinend früher als in Deutschland erkannt, denn schon im Juli 1916 ist in den „Comptes rendus“ der Parier Akademie die Beschreibung einer Vorrichtung erschienen, die der bekannte Forscher auf dem Gebiete der Arbeitsphysiologie, Amar, erfunden hat, um die Gehbewegungen Amputierter mit Ersatzbeinen zu untersuchen.[2] In einer deutschen Berichterstattung heißt es darüber: „Die Vorrichtung gestattet einerseits das Studium des sogenannten pathologischen Ganges und eine Kontrolle der Fortschritte beim Verwenden der verschiedenen Ersatzmethoden, sowie andererseits ganz unzweideutig die Vorteile oder auch Nachteile der verschiedenen vorgeschlagenen Stelzfüße oder auch künstlichen Füße einwandfrei festzustellen.“ Die Vorrichtung besteht aus zwei schmalen Laufbrettern, die nebeneinander so angebracht sind, daß beim Hinübergehen der eine Fuß nur das eine, der andere nur das andere Brett betritt. Beide Bretter sind, ähnlich wie die Lastbrücke einer Brückenwage, jedes in einem Hebelwerk aufgehangen, das nach den drei Dimensionen des Raumes mit starker Federung nachgibt. Die Bewegung der Bretter wird durch acht Luftschlauchleitungen auf ein Schreibwerk übertragen, das die Größe des von den Füßen nach unten, nach vor- oder rückwärts und nach rechts oder links ausgeübten Druckes in Kurvenform aufzeichnet.

---

[1] H. Gocht, *Künstliche Glieder.* Stuttgart 1907. S. 28.

[2] *Compt. rend.* T. CLXV. No. 5. p. 130.

Es leuchtet ein, daß man mit dieser Vorrichtung alle Unregelmäßigkeiten des Ganges, insbesondere auch die seitlichen Schwankungen, überaus deutlich erkennen muß und daß sie, wenn sie nur einigermaßen zuverlässig und fein arbeitet, den mit ihrem Bau beabsichtigten Zweck in befriedigendem Maße erfüllen muß. Die Kurven, die das „Trottoir dynamometrique“ liefert, wären ein Mittel, die Vergleichung zwischen verschiedenen Gangbewegungen viel sicherer und feiner zu gestalten, als die bloße Beobachtung es vermag. (Vgl. Fig. 1.)

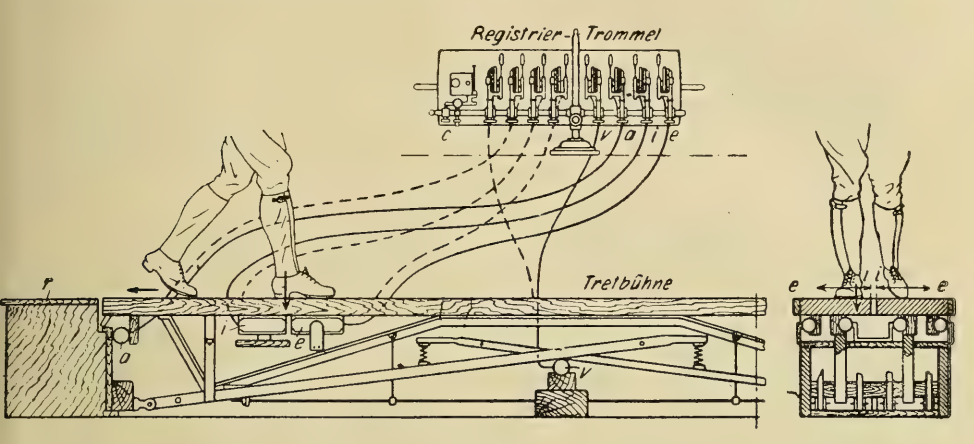


Fig. 1.

Leider sind, soweit mir bekannt, Ergebnisse dieses Verfahrens oder auch nur Proben von den Kurven bisher nicht veröffentlicht worden.

Einen Nachteil des Verfahrens kann man darin sehen, daß es die Form der Bewegungen nicht erkennen läßt. Dem steht aber der Vorzug gegenüber, daß man die wirksamen Kräfte, die man aus der Bewegungsform erst mühsam ableiten muß, unmittelbar aufgezeichnet erhält.

3. Vorzüge des photogrammetrischen Verfahrens von Fischer.

Von der Erfindung Amars bekam ich erst im November 1916 Nachricht, als ich mit photographischen Aufnahmen des Kunstbeinganges schon begonnen hatte.

Die Augenblicksphotographie ist unstreitig das einfachste und leistungsfähigste Hilfsmittel zur Untersuchung von Bewegungen. Bei weitem die vollkommenste Analyse der Gangbewegung sowohl in bezug auf die Form wie auf das Spiel der Kräfte hat bekanntlich der jüngst verstorbene Leipziger Professor Otto Fischer ausgeführt. Seine gemeinsam mit dem

Anatomen Braune begonnene und leider unvollendet gebliebene Arbeit „Der Gang des Menschen" beruht auf einer außerordentlich genauen kinematographischen Aufnahme der Bewegungen aller einzelnen Abschnitte des gehenden Körpers, die es gestattet, die Geschwindigkeit, die jeder einzelne Körperteil in jedem gegebenen Augenblick hat, und mithin auch die Beschleunigung oder Verzögerung seiner Geschwindigkeit zu bestimmen. Diese Beschleunigungen und Verzögerungen sind aber der Ausdruck der auf die Körperteile wirkenden Kräfte, und so gelangt Fischer zu einer genauen Berechnung der Kräfte, die während des Gehens auf jeden Körperteil wirken. Diese Kräfte sind zum Teil äußere, wie die Schwere, der Widerstand des Bodens und der Luft, zum Teil innere, wie die Muskelkräfte. Wenn die äußeren Kräfte bekannt sind, wie das von der Schwere gilt, oder den inneren gleich, wie das von den Bodenkräften gilt, kann die Größe der Muskelkräfte aus der Form der Bewegung abgeleitet werden.[1] In der Bestimmung der Bewegungen hat Fischer einen Grad von Genauigkeit erreicht, der geradezu als vollkommen gelten, weil er über das Maß dessen, was von einer solchen Messung vernünftigerweise gefordert werden kann, ein gutes Stück hinausgeht. Diese erstaunliche Genauigkeit beruht auf folgenden Einzelheiten des Verfahrens: 1. Anstatt den ganzen Körper in den verschiedenen aufeinander folgenden Stellungen auf verschiedene Platten zu photographieren, wie es bei kinematographischen Aufnahmen geschieht, wird der ganze Ablauf der Bewegung auf einer und derselben Platte aufgenommen. Dies hatte schon Marey getan und dabei die Aufnahme auf einzelne, durch glänzende Bänder hervorgehobene Stellen des Körpers beschränkt. So hatte er eine sehr übersichtliche Darstellung von Bewegungsvorgängen erreicht. Auf die Übersichtlichkeit kam es zwar für Fischer nicht an, aber er nahm Mareys Verfahren an, weil man auf einer einzigen Platte sehr viel genauer mesen kann als beim Vergleich mehrerer Platten untereinander. 2. Während Marey die wiederholte Exposition durch einen Revolververschluß an der Kamera bewirkte, verlegte Fischer gleichsam den Verschluß in das Objekt selbst, indem er statt der Mareyschen Bänder an den Gliedmaßen seiner Versuchsperson gerade Geisslersche Röhren befestigte, die durch eine Folge von Induktionsschlägen etwa 20mal in der Sekunde leuchtend gemacht wurden und dazwischen dunkel blieben. Die ganze Aufnahme ging in halbdunklem Raume vor sich, so daß nur die Abbildungen der Röhren in den Stellungen, die sie jeweils während

---

[1] W. Braune und O. Fischer, Der Gang des Menschen. *Abhandl. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss.* Math.-Phys. Kl. 1895. Bd. XXI. Nr. 4. S. 153.

eines Funkendurchganges gehabt hatten, auf der Platte erschienen. 3. Dadurch war es sehr einfach ermöglicht, genau dieselben Stellungen zu genau denselben Zeitpunkten auch von einer oder mehreren anderen Stellen aufnehmen zu können. Nur durch die gleichzeitige Aufnahme von mehr als einer Stelle aus ist die genaue Bestimmung der Lage eines photographierten Punktes im Raume möglich. Fischer wendete sogar vier Kameras gleichzeitig an und konnte so die Ortsbestimmung von je zwei Aufnahmen desselben Punktes miteinander vergleichen. Es fand sich, daß sie im allgemeinen nur um Zehntelmillimeter voneinander abwichen. 4. Ein wesentliches Hilfsmittel für den Erfolg der Messungen Fischers war endlich auch die von ihm angegebene Meßmaschine, mit der die Abstände der Linienbilder auf der Platte bis auf Tausendstel Millimeter gemessen werden konnten.

4. Begründung eines vereinfachten Verfahrens.

Leider ist der Hauptvorzug des Fischerschen Verfahrens, nämlich die genaue Ortsbestimmung durch gleichzeitige Aufnahme von zwei verschiedenen Punkten aus, nur für die Untersuchung vereinzelter Aufnahmen erreichbar, denn um ihn auszunutzen, muß man für jeden Punkt des Bildes erst die Berechnung seiner Lage aus den Standorten der beiden Kameras ausführen. Ein Verfahren, das zur vergleichenden Untersuchung zahlreicher Fälle dienen soll, muß auf diese äußerst mühsame Arbeit und damit zugleich auf die genaue Ortsbestimmung überhaupt verzichten. Es empfiehlt sich aber trotzdem, für ein vereinfachtes und vergröbertes Untersuchungsverfahren die Aufnahme im Dunkeln mit Hilfe aufleuchtender Geisslerscher Röhren beizubehalten. Hierdurch erreicht man, daß die Aufnahme übersichtlich auf einer einzigen Platte steht, daß man nur einen Stromunterbrecher und ein Induktorium, aber keinen chronographischen Verschluß der Kamera braucht, und daß man zwei oder mehr Aufnahmen derselben Stellungen zugleich erhalten kann. Die Anwendung von zwei Kameras zugleich muß nämlich ebenfalls von Fischer übernommen werden, wenngleich aus einem ganz anderen Grunde als der, wegen dessen er sie brauchte. Für jede auch noch so grobe Aufnahme des Ganges ist es wichtig, die Bewegung der rechten und linken Körperhälfte miteinander vergleichen zu können, und dieser Vergleich ist nur dann maßgebend, wenn die beiden Körperhälften wirklich in den zusammengehörigen Stellungen aufgenommen sind. Dies läßt sich aber nur mit Hilfe gleichzeitiger Aufnahmen mit zwei Kameras von beiden Seiten bewerkstelligen.

Fischer hatte seine Versuchsperson mit einem eng anliegenden schwarzen Gewand bekleidet, auf dem die Geisslerschen Röhren, durch Kautschukstreifen isoliert, mit Schnallgurten befestigt wurden. Zur Zuleitung des Stromes diente ein an den Schultern befestigter Querstab, der die Kabel trug, die ebenfalls mit Kautschuk isoliert waren. Um die Vorrichtungen schneller an verschiedenen Personen nacheinander anbringen zu können, fand ich es zweckmäßiger, die Röhren an Holzträgern zu befestigen, die aus einer länglichen Fußplatte bestanden, die an Ober- oder Unterschenkel angeschnallt wird, und die auf einem etwa 2 cm hohen Klotz die Röhre trägt, so daß diese frei in der Luft steht und dadurch isoliert ist. (Vgl. Fig. 2.) Die Zuleitung führte ich durch dünne, nicht isolierte Kupferdrähte zu den Füßen, von da durch die Röhren zu den Hüften hinauf, und verband die Enden der Röhren an den Hüften

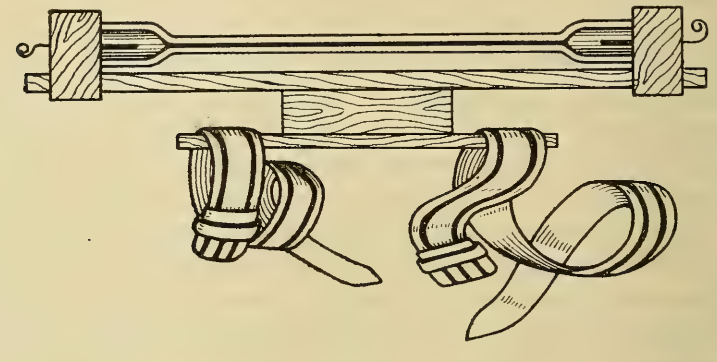


Fig. 2.

durch einen Querdraht, der hinter dem Rücken im Bogen durch die Luft ging, wo er durch einen Faden vom Rücken her schwebend erhalten wurde. Bei der hohen Spannung muß vermieden werden, daß der Leitungsdraht auf dem Boden schleift. Die Drähte wurden daher durch Porzellanringe geführt, die an Fäden hingen, die an gespannten Drähten über der Gangstrecke an Ringen glitten. Dadurch wurde erreicht, daß die Leitung ohne fühlbaren Widerstand allen Bewegungen der gehenden Versuchsperson folgte und dabei ganz frei in der Luft isoliert hing.

Aus dem städtischen Netz wurde ein Strom von etwa 7 Ampere entnommen, der, durch einen Wagnerschen Hammer mit Quecksilberkontakt unterbrochen, in dem Ruhmkorffschen Induktor eine Funkenlänge von etwa 25 mm erzeugte.

Das vereinfachte Untersuchungsverfahren verlief dann folgendermaßen: Die Versuchsperson mußte einen Teil der Kleidung, in der

Regel nur den Waffenrock, ablegen. Dann wurden die Holzgestelle mit den Geisslerschen Röhren an Ober- und Unterschenkeln angeschnallt und im Gehen und Stehen darauf nachgesehen, ob sie parallel zu den Gliedachsen säßen. Dann stellte sich die Versuchsperson an das Ende der Gangstrecke, die durch einen Kreidestrich auf dem Fußboden bezeichnet war, die beiden photographischen Kameras rechts und links von der Gangstrecke wurden mit Platten versehen, der Raum verdunkelt, die Kameras geöffnet der Strom angestellt, und die Versuchsperson ging die Gangstrecke entlang. Darauf wurden die Kassetten geschlossen, der Raum erhellt und nochmals die Lage der Röhren zu den Gliedachsen nachgemessen und zusammen mit den übrigen Einzelheiten des Falles anfgezeichnet

Zur Ausführung des Verfahrens bedarf man demnach folgender Einrichtung: 1. Es muß ein verdunkelbarer Raum vorhanden sein, der so groß ist, daß darin senkrecht zu einer mindestens 5 m langen Gangstrecke die beiden Kameras in je etwa 5 m Abstand von der Gangstrecke aufgestellt werden können. 2. Man braucht zwei Kameras mit lichtstarken Objektiven (1 : 7) und großer Brennweite (40 bis 50 cm). Damit der Maßstab der Aufnahmen nicht zu klein wird, verwendet man am besten die Plattengröße 18 : 24 und macht dann je zwei Aufnahmen auf jede Platte, indem man nur die obere Hälfte der Platte für die Aufnahme benutzt und dann die Platte umdreht, so daß die zweite Aufnahme auf die andere Hälfte der Platte kommt. 3. Induktor und Unterbrecher. Diese können natürlich nach Bedarf durch eine andere Art Stromquelle ersetzt werden, z. B. habe ich mit Wechselstrom, der durch einen Turbinenunterbrecher unterbrochen wurde, gearbeitet.

Als Probe auf die klinische Verwendbarkeit des Verfahrens möchte ich anführen, daß ich die gesamte Einrichtung vorübergehend im Reservelazarett in G. aufstellen und bei wöchentlichen Besuchen von Berlin aus mit bestem Erfolge dort Aufnahmen machen konnte, die erst in Berlin entwickelt und verwertet wurden.

5. Die Deutung der Aufnahmen.

Die Aufnahmen, die man auf die beschriebene Weise erhält, stellen eine Reihe von Strichen dar, die der Lage der Geisslerschen Röhren in den Augenblicken der Funkendurchgänge entsprechen. Wenn die Röhren den Gliedachsen genau parallel befestigt worden sind, braucht man, um eine Darstellung der bewegten Glieder zu erhalten, nur die Striche so weit zu verlängern, wie der Länge der Glieder entspricht. Dies ist am schnellsten und einfachsten zu machen, indem man die Platte von unten

durchleuchtet und die Striche auf ein darübergelegtes Blatt Papier durchzeichnet. Auf dem Papier kann man dann die Ergänzung der Röhrenbilder zu dem Bilde der Gliedmaßen ausführen und zugleich die etwa erforderlichen Berichtigungen anbringen. Wenn nämlich aus irgendeinem Grunde die Röhren nicht parallel zu den Gliedachsen gesessen haben, so sind deswegen die Aufnahmen noch nicht unbrauchbar. Wenn man nur die Lage der Röhren zu den Gliedachsen kennt, so genügt das, um eine richtige Darstellung von der Bewegung herzustellen. Will man in dieser Beziehung ganz sicher gehen, so empfiehlt es sich, unmittelbar vor oder nach (noch besser vor und nach) der Aufnahme, die mit den Röhren geschienten Glieder bei vollem Lichte zu photographieren. Auf diesem Lichtbilde kann man dann die Stellung der Röhren zu den Längsachsen der Glieder genau bestimmen und diese Bestimmung bei der Zeichnung des Bewegungsbildes benutzen. Wäre z. B. bei einer Gangaufnahme die am Oberschenkel befestigte Röhre am oberen Ende 3 cm zu weit ventralwärts angeschnallt gewesen, so würde man das auf dem Lichtfelde deutlich erkennen und müßte dann beim Durchzeichnen der Bewegungsaufnahme die Längsachse des Oberschenkels immer um eine 3 cm entsprechende Strecke dorsalwärts von dem Bilde der Röhre angeben.

Wenn man nicht besonderen Wert darauf legt, einen Beweis für die Zuverlässigkeit der Aufnahme in Händen zu haben, braucht man nicht erst ein Lichtbild aufzunehmen, um die Lage der Röhren zu den Gliedern zu bestimmen, sondern man kann sie einfach mit dem Maßstab abmessen.

In der Ausführung des Verfahrens kommt es darauf an, die Grenzen der Zuverlässigkeit der Zeichnung richtig einzuschätzen. Man könnte z. B. fürchten, daß die Genauigkeit der Aufnahme sehr darunter leiden würde, wenn statt der Messung auf der Platte selbst oder wenigstens an einer photographischen Kopie einfach eine Pause gemacht wird. Da aber eine einfache Seitenansicht, wie sie hier in Frage kommt, doch kein ganz getreues Bild der Bewegung geben kann, hat es keinen Sinn, das Verfahren im übrigen besonders exakt gestalten zu wollen.

Wenn die Gehbewegungen genau in der Ebene verliefen, auf die die Kamera eingestellt ist, würde das Objektiv ein getreues Abbild der einzelnen Stellungen liefern. Weder der Ober- noch der Unterschenkel bewegen sich aber in einer Ebene, sondern nach Fischers Aufnahme befinden sich Hüfte und Fußgelenk in einigen Stellungen bis zu 6 cm medial vom Kniegelenk.

In dem Augenblick, in dem der Gehende sich gerade vor der Kamera befindet, wird das keinen Einfluß auf die Abbildung haben. Vorher und nachher aber, wenn er sich rechts oder links vor der Kamera befindet,

wird das Bild der Röhre, je weiter sie sich vor der betreffenden Ebene befindet, desto mehr nach dem Rande der Platte zu, je weiter dahinter sie sich befindet, desto mehr nach der Mitte zu verschoben werden. Dies Verhältnis veranschaulicht vorstehendes Schema, das wie ein Grundriß der Versuchsanordnung zu betrachten ist. (Vgl. Fig. 3.)

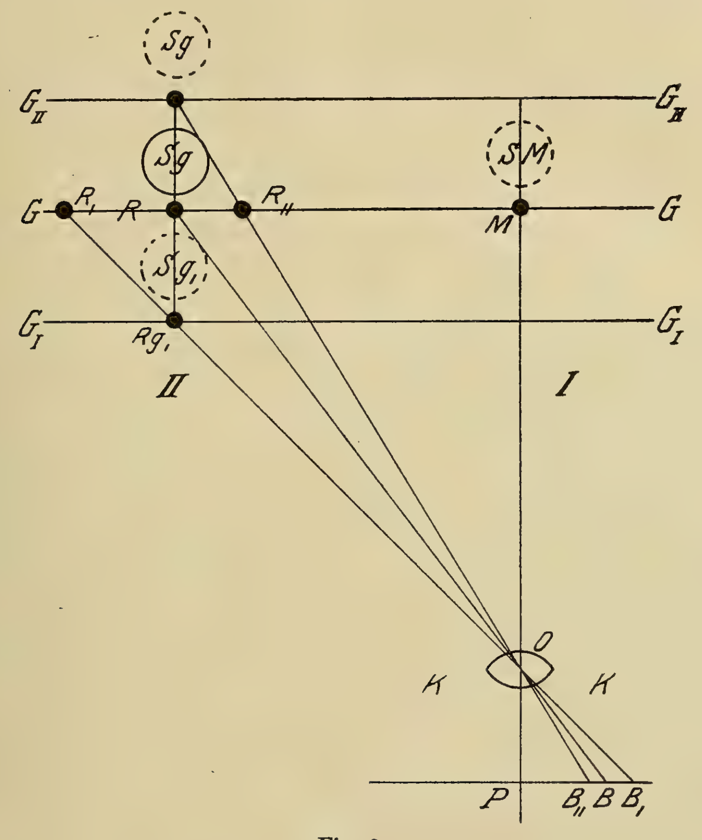


Fig. 3.

S bezeichnet den Ober- oder Unterschenkel (von oben im Querschnitt gesehen) mit der daran befestigten Röhre *R*. *GG* ist die Gangebene, auf die die Kamera, *KK*, eingestellt ist. *G'G'* und *G''G''* sind Parallelebenen zu *GG*, die die Grenze für die Abweichung von *R* aus der Ebene *GG* angeben. *O* ist das Objektiv, *P* die Platte, *MOP* der Mittelstrahl. Befindet sich *R* gerade vor *O* auf der Geraden *OM*, so ist es gleich, ob es auf *GG*, *G'G'* oder *G'' G''* liegt, die Abbildung fällt immer genau auf die Mitte der Platte *P*. Befindet sich *R* aber seitlich von *OM*, wie es

bei II dargestellt ist, so fällt sein Bild auf den Punkt B der Platte und wenn nun R vor die Ebene GG in die Ebene $G'G'$ vorgeschoben oder hinter sie nach $G''G''$ zurückgestellt wird, fällt sein Bild auf B' oder B''. Die Möglichkeit der Abweichung von R aus der Ebene GG nach $G'G'$ oder $G''G''$ zu, bedingt also eine Unsicherheit in der Bestimmung der Entfernung von P nach B, die man für die Ausmessung der Bewegung von M nach R gebraucht.

Es fragt sich nun, unter welchen Bedingungen dieser Mangel der einfachen Seitenaufnahme so groß wird, daß er den Wert des Verfahrens beeinträchtigt.

Zwischen der Größe der möglichen Verschiebung von R, nämlich von R bis RG', und der daraus hervorgehenden Verschiebung des Bildes von R, BB' oder RR besteht, wie die Figur zeigt, die Proportion

$$\frac{RR'}{RRg_1'} = \frac{RM}{MO}. \quad \text{Daher: } RR' = RM \cdot \frac{RRg_1'}{MO}.$$

Je größer also der Abstand der Kamera von der Objektebene im Verhältnis zum seitlichen Abstand MR, desto kleiner ist der mögliche Fehler in der Lage der Abbildung von R. Nun ist RRG' nach Fischer höchstens 0·06 m, RM muß ungefähr 1·5 m groß sein, damit die ganee Gangstrecke, die aufgenommen wird, etwa 3 m lang ist, so daß sie sicher einen vollen Doppelschritt einschließt. An diesen beiden Werten kann man nichts ändern; es bleibt nur übrig, MO möglichst groß zu nehmen.

Man muß also die Kamera möglichst weit von der Gangstrecke stellen. Dies findet daran seine Grenze, daß aus der Entfernung aufgenommen, das Bild unter sonst gleichen Bedingungen immer kleiner ausfällt. Um aber kleine Unterschiede auf der Platte noch bequem wahrnehmen und vergleichen zu können, empfiehlt es sich, die Aufnahme etwa im Maßstab 1:10 zu halten, so daß ein Zentimeter in Wirklichkeit auf der Platte einen Millimeter mißt. Dazu bedarf es, wenn man zugleich aus möglichst großer Entfernung photographieren will, eines Objektives von großer Brennweite. Die Firmen Busch in Rathenow und Zeiss in Jena haben mir mit dem größten Entgegenkommen vorzügliche Objektive dieser Art für die Vorversuche geliehen, wofür ich nicht verfehlen möchte, hier den gebührenden Dank auszusprechen. Diese Objektive hatten mehr Lichtstärke und zeichneten ein größeres Feld scharf aus, als für den vorliegenden Zweck erforderlich war. Es waren Buschs Omnar-Anastigmat, 1:5·5, f = 45, und Zeiss' Tessar, 1:6·3, f = 49. Ich habe gefunden, daß schon die Lichtstärke 1:7 bis 1:8 ausreichend ist.

Bei der Brennweite von fast 50 cm erhält man eine Aufnahme im Maßstab 1:10 in rund 5 m Abstand. Unter diesen Bedingungen würde

sich der Fehler durch die seitlichen Bewegungen beim normalen Gange folgendermaßen berechnen.

Es war oben gefunden:

$$R R' = R M \cdot \frac{R R g_1'}{M O}.$$

RR' ist die Verschiebung des Bildes infolge der Annäherung oder Entfernung von R, RM ist im ungünstigsten Falle, das heißt am Anfang und am Ende der Gangstrecke = 1·5 m. RRG ist nach Fischer im äußersten Fall = 0·06 m, mithin

$$R R' = 1 \cdot 5 \,.\, \frac{0 \cdot 06}{5}$$

oder

$$R R' = \frac{0 \cdot 09}{5} = 0 \cdot 018 \, \text{m}.$$

Da nach der Figur die Abbildung auf der Platte die Verhältnisse der Wirklichkeit im Maßstab $MO : OR$ wiedergibt, und dies im vorliegenden Falle dem Maßstab 1 : 10 entspricht, würde unter den ungünstigsten Umständen, das heißt bei der größten vorkommenden seitlichen Abweichung von R und am Anfang oder Ende der Gangstrecke, der Fehler auf der Zeichnung 1·8 mm betragen.

Außerdem hat man aber mit noch größeren Fehlern derselben Art zu rechnen, weil die Versuchsperson die Gangrichtung nicht immer richtig innehält, sondern etwas schräg oder gar im Zickzack geht. Man muß sich diese Möglichkeit vor Augen halten und sich nur so weit auf die Richtigkeit der Zeichnung verlassen, als nach obigen Berechnungen zulässig erscheint, das heißt z. B. nur bis zu einer gewissen Entfernung von der Plattenmitte.

Wenn man auf diese Weise die Gangbewegungen auf dem Papiere dargestellt hat, gilt es, die Zeichnung mit Rücksicht auf die Mechanik des Ganges auszudeuten. Hier tritt eine im ersten Augenblick überraschende Schwierigkeit auf, daß man nämlich auf der Zeichnung mancherlei Einzelheiten bemerkt, die man bei Betrachtung des Ganges mit bloßem Auge nicht sieht, während man umgekehrt die Dinge, die man mit dem Auge wahrgenommen hat, auf der Zeichnung nicht wiedererkennt.

Es besteht sogar geradezu ein Gegensatz zwischen den beiden Untersuchungsarten insofern, als das Auge diejenigen Stellungen am sichersten auffaßt, in denen die Gliedmaßen am längsten verweilen, während auf den Augenblicksbildern sich diejenigen Stellungen am deutlichsten abheben, in denen die Gliedmaßen sich am schnellsten bewegen, weil da die Einzelbilder am weitesten voneinander entfernt erscheinen.

Um die ganz verschiedenen Eindrücke, die man durch die beiden Arten der Untersuchung erhält, zu vereinigen, bedarf es recht eingehender Durchmusterung der Aufnahmen und entsprechender Erfahrung im Beobachten der Gehbewegung.

Zur Erforschung der Augenblicksbilder bieten sich zwei Wege dar. Man kann entweder damit beginnen, irgendeine Einzelheit, die einem zuerst auffällt, messend festzustellen, und sich dann von den dabei gewissermaßen zufällig gemachten Bemerkungen weiter leiten lassen, oder man kann von vornherein nach einem festgesetzten Plan möglichst alle Einzelheiten der Bewegung, die überhaupt von Bedeutung sein können, genau ausmessen und verzeichnen, um so einen Überblick über die ganze Bewegung zu bekommen, der zugleich zuverlässig ist. Das letzte ist der Hauptvorzug dieses Verfahrens. Bei der Betrachtung der Bewegungsbilder glaubt man nämlich nicht selten allerlei Auffälliges wahrzunehmen, das sich aber beim Nachmessen als bloße Urteilstäuschung erweist. Das Augenmaß wird nämlich durch die Reihen von Strichen und Linien, die in verschiedenen Winkeln gegeneinander geneigt sind, geradezu in ähnlicher Weise irregeführt wie durch die Zoellnersche Täuschungsfigur.

6. Bemerkung zur Lehre von der normalen Gangbewegung.

Nachdem das Untersuchungsverfahren in allen den erwähnten Einzelheiten ausgebildet worden war und schon eine Reihe von Beobachtungen über die Gehbewegung beim Gebrauch künstlicher Beine vorlag, ergab sich die Notwendigkeit, die Unterschiede zwischen den Bewegungen bei schnellem und bei langsamem Gange genauer, als bisher geschehen, festzustellen. Hierüber soll im zweiten Abschnitt dieser Mitteilung berichtet werden. Zum Schlusse des ersten aber möge eine Beobachtung über den normalen Gang angeführt werden, die, so selbstverständlich sie unter gewissen Voraussetzungen erscheinen mag, als allgemeingültiger Satz Beachtung verdient: Bei der normalen Gangbewegung kommt nicht die geringste Rückwärtsbewegung im Raum vor. Die Gliedmaßen bewegen sich in der Richtung der Gesamtbewegung oder sie stehen still, aber sie bewegen sich nie rückwärts.

Dies erscheint selbstverständlich, wenn man als selbstverständlich annimmt, daß der normale Gang keine unzweckmäßigen Bewegungen einschließt. Jede Rückwärtsbewegung im Raum bedingt eine unnütze Arbeitsleistung, weil der betreffende Körperteil entweder vor der Rückwärtsbewegung weiter, als nötig war, vorgerückt gewesen sein muß oder schneller, als sonst nötig gewesen wäre, nachträglich vorgerückt werden

muß, um die Rückwärtsbewegung auszugleichen. Jede Rückwärtsbewegung im Raum ist also Arbeitsverschwendung, und unter der Voraussetzung, daß die Gangbewegung zur größten möglichen Zweckmäßigkeit ausgebildet sei, versteht es sich allerdings von selbt, daß keine Rückwärtsbewegungen dabei stattfinden.

Daher mag es dann auch wohl kommen, daß frühere Untersucher es nicht der Mühe wert geachtet haben, die Tatsache besonders hervorzuheben, daß beim normalen Gehen wohl relative, aber niemals absolute Rückwärtsbewegung beobachtet wird. Bedenkt man aber, wie starke relative Rückwärtsbewegungen beim Gehen gemacht werden, daß sie die Geschwindigkeit nach vorwärts bis auf Null herabsetzen und daß daher jede noch so geringe Verstärkung sie in absolute Rückwärtsbewegung verwandeln muß, so kann es im Gegenteil wundernehmen, daß dieser Fall nicht eintritt.

Diese Auffassung drängt sich dem Beobachter auf, wenn er sieht, daß beim Gehen mit einem künstlichen Bein das gesunde Bein gar nicht selten Rückwärtsbewegungen im Raum ausführt.

Nährwert des durch Alkali aufgeschlossenen Strohes beim Hunde.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Zu den Bemühungen, welche auf künstlichem Wege sonst schwer verdauliche pflanzliche Nahrung in eine leichter verdauliche Form überführen wollen, gehört die Behandlung von Raufutter oder Stroh mit Alkali bei hoher Temperatur mit oder ohne Steigerung des Atmosphärendrucks. Es eignen sich dazu Stoffe, die von Haus aus weder Stärke, Zucker oder N-haltige Nährstoffe in erheblichen Mengen enthalten. Dahin kann man in erster Linie das Stroh der verschiedenen Bodenfrüchte rechnen, zwar wird ihm ein erheblicher Teil von ,,N-freiem Extrakt" in den Analysen zugeschrieben, tatsächlich macht, wie besonders auch die nachfolgenden Untersuchungen zeigen, die Zellmembran den größten Teil dieser N-freien Extrakte aus.

Die Aufschließung von Stroh mit Natron oder Kalilauge in der Wärme ist eine Behandlung, welche schon vor dem Kriege bekannt war. Besonders hat Lehmann in Göttingen sich mit derartigen Produkten für Fütterungszwecke bei Pflanzenfressern beschäftigt. Anfänglich wurde das Material wie es war, ohne Auswaschen der Lauge verfüttert, wobei sich gelegentlich Nachteile gezeigt haben sollen, dann ist man zum Auswaschen des Strohes übergegangen. Das allgemeine Ergebnis läßt sich nach Versuchen von Lehmann, Fingerling, Zuntz dahin zusammenfassen, daß solches Stroh mit einem Nutzeffekt bis 90 Prozent verdaut werden kann, wodurch der Vorteil entsteht, daß für geeignete Tiere eine erheblich größere Masse als von Rohstroh verfüttert werden darf. Für Rindvieh, Pferde ist solches aufgeschlossene Stroh ein gutes Futter, ein Kohlehydrat; unbrauchbar ist es für Schweine, deren einfacher gebauter Darmkanal sich für hochwertige Ausnützung nicht eignet. Bei der großen Schwierigkeit, die sich

jetzt auch für die Erhaltung von Versuchstieren ergeben, konnte es von Wichtigkeit sein, ein Ersatzfutter für Hunde zu erhalten, es schien mir deshalb schon von diesem Gesichtspunkte aus wünschenswert, einen Versuch am Fleischfresser anzustellen. Ein prinzipielles Bedenken besteht ja nicht mehr, seitdem ich gezeigt habe, daß der Hund in seinem Darm viele Arten von Zellmembranen nicht allzu schlecht, manche sogar weitgehend verwertet.

Die rein wissenschaftlichen Fragen konnten aber auch Interesse erwecken, da die Verwendung des aufgeschlossenen Strohes mehr auf rein praktischer Grundlage aufgebaut wurde; der nähere Vorgang der Verdaulichkeit bei diesem veränderten Stroh, ja, seine nähere Zusammensetzung ist bisher nicht geprüft worden, da man sich wesentlich auf Rohfaserbestimmungen in der Einnahme und Ausgabe beschränkt hat. Es mußte von Wichtigkeit sein, die Gesichtspunkte und Methoden, die von mir neuerdings für Fragen dieser Art Verwendung gefunden hatten, auch hier in Anwendung zu bringen.

Dem Prinzip nach wären bei dem Studium der Aufschließung des Strohes oder ähnlicher Produkte eine Reihe von Zubereitungsarten und Verwendungsarten zu prüfen. Grundsätzlich verschieden sind sicher alle Präparate, je nachdem man das Material nach der Alkalibehandlung auswäscht oder nicht. Ist letzteres der Fall, so besteht das Nährende aus Gelöstem und Ungelöstem, im ersten hinterbleibt — wenigstens nach üblicher Annahme — nur Ungelöstes. Die Verdaulichkeit von Präparaten so verschiedener Zusammensetzung müßte selbstverständlich sehr ungleich sein.

Da man aber wegen der Gefahr, welche stark alkalische Flüssigkeiten und Substanzen für den Darmkanal haben, auf die Verwendung solcher Präparate verzichtet hat, bleibt für die weitere Betrachtung nur das ausgewaschene Material verschiedener Herstellung Objekt der Untersuchung.

Vorversuche mit Stroh, das durch Kochen mit Natron aufgeschlossen war.

Das erste Material stammte aus D., es war Strohhäcksel, das nach dem Alkaliverfahren zubereitet war. Die näheren Versuchsbedingungen der Zubereitung sind nicht mitgeteilt worden (Dez. 1916). Das feuchte Material wurde von mir in dem Faustschen Apparat getrocknet und in einer elektrisch betriebenen Laboratoriumsmühle gründlich zu mehlartiger Beschaffenheit zerkleinert. Von diesem Pulver erhält der Hund 3 Tage je 70 g lufttrocken zu je 1000 g Fleisch zugesetzt. Die Entleerungen waren sehr umfangreich, aber fest.

Es wird notwendig sein, zunächst einen Überblick über die Zusammensetzung von Stroh überhaupt zu geben, damit man von vornherein ein Maß für die Veränderungen erhält, die sich bei der Natronbehandlung vollziehen. Ich benützte dazu eine Analyse, die später in Zusammenhang mit systematischen Versuchen der Aufschließung besondere Verwendung finden soll.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind bei Winterhalmstroh (nach Angaben des landwirtschaftlichen Kalenders):

N	0·48
Fett	1·4
N-freie Extrakte	40·3
Rohfaser	49·2

Nach meiner Untersuchung enthält Strohhäcksel in 100 Teilen:

Asche	4·32
Organisch	95·68
N	0·54 (3·37 Rohprotein)
Pentosan	26·43
Zellmembran	77·32
darin Zellulose	35·20
,, Pentosan	22·35
,, Rest	19·77
Rohfett	(1·51)
Verbrennungswärme	448·6

Die eingehende Analyse zeigt uns ein ziemlich kompliziertes Bild des Aufbaues des Strohes, vor allem schrumpfen die bisher üblichen N-freien Extrakte von 40·3 Prozent auf 13·5 Prozent zusammen und zwar sind letztere die von Wasser und anderen Lösungsmitteln (Alkohol, Chloralhydrat) aufnehmbaren Anteile; also offenbar Reste verschiedener Substanzen, die sich noch in den Strohzellen befinden. Die größte Masse des Strohes besteht aus der Zellmembran, die sich aus Zellulose, Pentosanen und einem Rest nicht weiter bestimmbarer Verbindungen, wohl Hemizellulosen, Lignine usw. zusammensetzt. Vom Pentosan sind 84·6 Prozent in der Zellmembran, mit der Zellulose und ihren übrigen Bestandteilen innig verbunden.

Von der Zellmembran selbst sind in 100 Teilen:

Zellulose	45·6
Pentosan	28·9
Rest	25·49

Etwa 1/4 aller Substanzen läßt sich vorläufig in die besonderen Bestandteile noch nicht scheiden; die Gruppe dieser Stoffe hat, wie ich aus anderen Untersuchungen entnehme, eine höhere Verbrennungswärme wie Zellulose und Pentosane.

In vielen Richtungen erinnert die Zusammensetzung des Strohes an jene des Holzes überhaupt.

Nach dieser Darlegung kann an die Besprechung der Versuchsergebnisse am Hund, die in nachstehender Tabelle zusammengefaßt sind, herangetreten werden.

	In 100 Teilen aufgeschlossenen Strohes sind:	In 70 g lufttrocken = 67·13 g trocken:
Asche	3·28	2·19
Organisch	96·72	64·90
N	0·18 (1·12 Rohprot.)	0·12
Pentosan	31·80	21·33
Zellmembran	80·00	53·65
Zellulose der Zellm.	53·70	36·02
Pentosan „	21·55	14·45
Restsubstanz „	4·75	3·18
Fett	1·15	0·77
Kalorien	438·2	294·0

	In 100 Teilen Zellmembran sind:
Zellulose	67·12
Pentosan	26·94
Restsubstanz	5·94

	In 100 Teilen Kot sind:	In 90·45 Trockenkot sind:
Asche	26·86	24·27
Organisch	73·14	66·13
N	1·66	1·50
Pentosan	14·29	12·92
Zellmembran	41·34	37·37
Zellulose der Zellm.	26·79	24·21
Pentosan „	12·65	11·43
Restsubstanz „	1·90	1·73
Fett	1·64	1·50
Kalorien	318·8	288·2

	In 100 Teilen Zellmembran sind:
Zellulose	64·80
Pentosan	30·63
Rest	4·57

Die Zusammensetzung des aufgeschlossenen Strohes kann nicht mit der Strohzusammensetzung Zahl für Zahl verglichen werden, weil ja das eigentliche Ausgangsmaterial nicht untersucht worden ist. Man erkennt aber die Gesamtwirkung der Natronaufschließung recht gut. Zunächst haben wir wieder „lösliche Substanzen" 14·45 Prozent, dies sind aber nicht die ursprünglichen des Strohes, sondern die unausgewaschenen Reste der Aufschließungsprodukte, außerdem sehen wir die Zellmembran verändert, sie hat die Gruppe von Stoffen größtenteils eingebüßt, welche das Lignin enthielten, die Verbrennungswärme ist gesunken. In der Zellmembran überwiegt jetzt stark die Zellulose. Sie ist entweder gar nicht oder nur unbedeutend in der Menge, vielleicht nicht einmal in ihrer Verdaulichkeit beeinflußt. Darüber hat eben der Versuch zu entscheiden.

Nach den über das Verfahren bekannt gewordenen Nachrichten geht bei der Behandlung des Strohes durch Kochen mit Lauge nahezu die Hälfte der organischen Substanz in Lösung. Man beabsichtigte damals, durch Eindampfen der Laugen eine Wiedergewinnung der Soda zu erzielen; wenn dies nicht möglich wäre, sollen die Laugen als Abwasser in die Flußläufe gelassen werden oder das eingedickte Material konnte auch, der trocknen Destillation unterworfen, auf Aceton, Methylalkohol, Schmieröl usw. verarbeitet werden. Hier interessiert, daß das Produkt zur Ernährung nur etwas mehr als die Hälfte des Ausgangsmaterials darstellt.

Der Kot besteht zu $^4/_{10}$ aus Zellmembran, die Pentosane sind nahezu ausschließlich in dieser vorhanden, nur ein kleiner Teil von Restsubstanz (Lignine usw.) findet sich noch vor. Der Rest des Kotes besteht aus Stoffwechselprodukten.

Vergleicht man die Ein- und Ausfuhr der Zellmembranen, so hat man:

Verlust an Pentosan überhaupt . . .	60·6	Prozent
„ „ Zellmembran	69·65	„
„ „ Zellulose	67·20	„
„ „ Pentosan der Zellmembran	79·10	„
„ „ Restsubstanz	54·40	„
an freien Pentosanen	21·66	„

Die Zellmembran des mit Natron behandelten Strohes ist also für den Hundedarm verdaulich, aber nicht in höherem Grade als etwa Birkenholzmehl — ohne weitere Zubereitung —, die Pentosane der Zellmembran sind etwas schlechter resorbierbar als diese selbst im ganzen betrachtet, die freien, nicht an Zellmembran gebundenen Pentosane scheinen schlecht resorbiert zu werden, daher ist es wahrscheinlich richtiger, die freien Pentosane im Kot als Abkömmlinge der verdauten Zellmembran und ihrer

Pentosane anzusehen, die also erst bei dem Einsetzen der Zelluloseverdauung entstehen, dann ungelöst im Dickdarm bleiben.

Außer der Zellmembran und den anderweitig bestimmten Substanzen findet sich im Strohmehl nur wenig anderes. Wir haben:

Organisches		96·7 Teile
Zellmembran	80·00 Teile	
Pentosan frei	11·6 ,,	
N-Substanz	1·1 ,,	
Fett	1·1 ,,	= 93·8 Teile
	bleiben	2·9 Teile

Als „lösliche" Substanz wird man nur die 11·6 g Pentosan + 2·9 Teile nicht näher zu definierenden Zwischenprodukte der Strohaufschließung ansehen können = 14·5 Prozent, wovon also 80·5 Prozent Pentosan sind. Damit soll nichts weiter gesagt sein, als daß die Furfurol liefernden Stoffe in den angegebenen Verhältnissen sich finden. Der lösliche Anteil wird unzweifelhaft leichter verdaut wie die Zellmembran.

Aufgenommen wurde		294·0 Kal.
im ganzen im Kot abgegeben	288·2 Kal.	
auf Fleischkot trifft	67·7 ,,	= 220·5 Kal.

welche als Gesamtverlust der Zufuhr anzuesehen sind = 74·9 Prozent Verlust.

Wie groß die Menge der Stoffwechselprodukte in diesem Falle ist, läßt sich in folgender Weise berechnen:

in Kot wurden entleert		288·2 Kal. p. Tg.
für 37·37 g Zellmembran à 4·2 Kal.[1]	161·3	
an freiem Pentosan 1·5 × 3·9	5·8	
aus Prot. in der Zellmembr. 3·6 × 5·8	21·0	= 188·1 ,,
	bleibt:	100·1 Kal. p. Tg.

Der normale Fleischkot soll nur 67·7 Kalorien liefern, es ist also ein Überschuß vorhanden, der auf Kosten der gefütterten Substanz entfällt = 32·4 Kalorien per Tag.

Eine Mehrung der N-Ausscheidung im Kote ist nicht zu erweisen. Die aus dem Kot dargestellte Zellmembran enthielt etwa eben soviel N wie das verfütterte Material pro Tag 0·58 g N. Dieser Wert von der Gesamt-N-Ausscheidung 1·50 abgezogen, bleibt 0·92 g N, was der durchschnittlich bei Fleischfütterung kommenden N-Ausscheidung im Kot der Hunde annähernd entspricht. Würde man das aufgeschlossene Stroh für sich allein

[1] Nach späteren Untersuchungen von aufgeschlossenem Stroh.

füttern können, so würde der Ausnutzungseffekt geringer werden, wie oben angegeben, weil dort die dabei auftretenden Stoffwechselprodukte in ihrer Gesamtheit auf den Nährwert des Strohes zu verrechnen wären.

Die ganze Menge der vom Hunde resorbierten Kalorien beträgt für den Tag 294 — 220 = 74 Kalorien, was rund 7·4 Prozent des gesamten Stoffwechsels des Versuchstieres ausmachen würde, vorausgesetzt, daß die bei der bakteriellen Aufschließung der Zellmembran freiwerdenden Produkte restlos dem Stoffwechsel dienen, was sicher nicht der Fall ist. Auch bei dieser maximalsten Leistung stellt also aufgeschlossenes Stroh für den Hund kein Nährmittel von Bedeutung dar.

Im Anschluß an diese Vorversuche wurden im Sommer 1917 nach mannigfachen anderen Vorarbeiten die Experimente nochmals aufgenommen, um unter möglichst vergleichbaren Verhältnissen die Wirkung der sogenannten Aufschließung nach verschiedenen Methoden, wie sie in der Praxis eingeführt worden sind, in ihrem Erfolg auf die Verdaulichkeit der Produkte zu untersuchen.

Ausgegangen wurde von der Untersuchung des verwendeten Strohhäcksels und damit verglichen ein Präparat, das unter Druck und ein zweites, das in nicht geschlossenen Gefäßen, mit derselben Konzentration von Alkali aufgeschlossen war.

Da auch die Fabrikation überwacht war, so läßt sich auch die Ausbeute an aufgeschlossenem Stroh zu weiteren Schlüssen mit verwerten.

Vergleichende Reihe.

I. Gepulvertes Stroh.

Das in Häckselform gelieferte Stroh wurde in einer elektrisch betriebenen Laboratoriumsmühle zu einem feinen Pulver zermahlen, und diente unter der Bezeichnung Urstroh zu den nachstehend berichteten Versuchen. Der Hund erhielt neben 1000 g Fleisch je 70 g der lufttrockenen Masse, beides innig gemischt.

Diese Menge wurde gewählt, weil in Versuchen mit Birkenholz genauer erwiesen wurde, daß 70 bis 75 g Zellmembranen das Optimum der Ausnützung bei meinem Tiere darstellt. Die Kotbildung war außerordentlich gesteigert, der Kot aber nicht zusammenbackend, sondern locker und erdig. Über die Zusammensetzung der Ein- und Ausfuhr geben nachfolgende Tabellen Aufschluß.

Strohhäcksel.

	In 100 Teilen	In 66·22 g pro Tag
Asche	4·32	2·87
Organisch	95·68	63·35

	In 100 Teilen	In 66·22 g pro Tag
N	0·54 (3·37 Rohprotein)	0·37
Pentosan	26·43	17·49
Zellmembran	77·32	51·20
Pentosan der Zellm.	22·35	14·79
Zellulose ,,	35·20	23·30
Rest ,,	19·77	13·11
Fett	(1·51)	0·99
Verbrennungswärme	448·6	297·0
löslich	13·46	9·93
mit Pentosan	4·18 = (31·05 Prozent Pentosan)	

	In 100 Teilen Kot	In 64·1 g pro Tag
Asche	10·55	6·76
Organisch	89·45	57·24
N	2·49	1·59
Pentosan	20·28	13·00
Zellmembran	48·77	31·26
Zellulose der Zellm.	26·13	16·75
Pentosan ,,	20·51	13·15
Rest ,,	2·13	1·36
Verbrennungswärme	423·4	271·4

Zur Darstellung der Zellmembran wurde wie üblich verfahren, zuerst, um die Verhältnisse zur Behandlung des Kotes gleich zu machen mit schwach saurem Alkohol extrahiert, dann getrocknet, mit Wasser in der Wärme extrahiert, mit Alkohol entwässert, der Alkohol mit Äther entfernt, wieder getrocknet, 24 Stunden in der Kälte mit konzentriertem Chloralhydrat stehen gelassen, $^1/_2$ Stunde gekocht und heiß nachgewaschen, mit Äther und Alkohol behandelt. Ich hebe dies besonders hervor, weil sich bei diesem Verfahren zeigt, daß eine nicht unerhebliche Menge von löslichen Produkten abgeschieden werden kann, die Zellmembran macht 77·32 Prozent der Trockensubstanz aus, zu den löslichen Produkten gehört auch etwas Pentosan (26·43 — 22·35) 4·08 g.

Ein Teil des N ist unlöslich = 0·32 g, er bleibt mit der Zellmembran fest verbunden. 82·2[1] Teile sind unlöslich, daher (95·68 — 82·2) 13·46 Teile organisch löslich.

---

[1]
77·32 Zellmembran
1·51 Fett
3·37 Protein
82·2

Der Kot war reich an Pentosan, bestand überhaupt fast aus der Hälfte, d. h. zu 48·77 Prozent aus Zellmembran. Mit dieser waren 0·69 N ausgeschieden worden, etwas mehr als die Zellmembran von Anfang an enthalten hatte, so daß sich Bestandteile des Fleischkotes fest eingelagert haben müssen (= 0·69 — 0·32) 0·37 g N entsprechend.

Nimmt man die Gesamtausnützung in Kalorien ausgedrückt, so hat man 297·0 Kalorien als Zufuhr und 271·4 Kalorien als Ausfuhr, wovon 67·7 mindestens als Fleischkot abgehen = 203·7 Kalorien als Verlust = 68·58 Prozent. Der Verlust betrifft die Zellmembranen, wie die löslichen Produkte. Die Verluste der Zellmembran lassen sich nach den Analysen kurz nachstehend angeben:

Zellmembran im ganzen	61·05 Prozent
Zellulose der Zellmembran	74·46 ,,
Pentosan ,, ,, ...	86·64 ,,
Restsubstanz ,, ...	10·37 ,,

Die Zellmembran ist also nicht unerheblich auflösbar, wobei wie immer die Zellulose etwas ungünstig abschneidet. Die Pentosane gehen schwer in Lösung, auffallend gut aber die Restsubstanzen, deren Natur wir zurzeit nicht näher bezeichnen können. Im Kot sind nur mehr Pentosane der Zellmembran vorhanden.

Was die löslichen Produkte anlangt, so läßt sich darüber folgendes sagen: 1 g organische Zellmembran inkl. des N-Anteiles hatte 4·497 Kalorien.

Zellmembran + Rohprotein machen 80·69 Teile aus, und entsprechen (80·7 × 4·497) 361·2 Kalorien.

Das Urstroh hatte	448·6 Kalorien
in obigem Unlöslichen	361·2 ,,
Rest	87·4 Kalorien
ab für 1·51 Fett	14·0 ,,
	63·4 Kalorien

63·4 Kalorien bleiben für den löslichen Rest des Urstrohes = 13·48 Teile.

1 g dieser organischen Substanz liefert 4·703 Kalorien, also mehr wie reine Zellulose, was auf die Beimengung von Lignin bezogen werden mag. Der Wasserextrakt und der Alkoholextrakt aus dem Stroh sind von grüngelber Farbe. Ersterer löst etwas Kupferoxydhydrat in alkalischer Lösung, gibt aber keine Fällung von Kupferoxydul beim Erhitzen, wird mit Phloroglucinsalzsäure in der Kälte rot, blaßt ab, um beim Erhitzen wieder gelbrot zu werden. Mit 0·5 Prozent Salzsäure bei längerem Kochen gibt der Wasserauszug deutlich unter Fällung eines Niederschlages Zucker, der die Trommersche Probe liefert.

Von den löslichen Substanzen gehen furfurolbildende Anteile in den Harn über.

Am 1. Tag	0 g	Pentosan
,, 2. ,, ...	0·20 g	,,
,, 3. ,, ...	0·19 g	,,
Knochentag	0	,,

Im Kot wurden täglich ausgeschieden	271·4 Kal.
davon gehen ab für die unlösliche Zellmembran inkl. Protein	201·7 ,,
bleiben	69·7 Kal.
im normalen Fleischkot sind enthalten	67·7 ,,
Überschuß:	2·0 Kal.

Eine nennenswerte Mehrung der N-Ausscheidung im Kot über das Maß der N-Ausscheidung nach reiner Fleischkost ist nicht nachzuweisen. Die N-Menge pro Tag im Kot beträgt 1·59 g N, außerdem wurde gefunden 0·32 g N in der Zellmembran, verbleiben also 1·27 g N, während bei reiner Fleischkost 1·03 g N im Mittel abgegeben werden. Man kann daher annehmen, daß die oben aufgeführten löslichen Stoffe des Urstrohes ohne Rest zur Resorption gelangt sind, durch diesen Umstand wird die Gesamtausnützung natürlich etwas günstiger, als ohne die Beimischung solcher löslichen Substanzen.

Die Verdaulichkeit des Strohes hat offenbar, was die eigentliche Zellmasse anlangt, große Ähnlichkeit mit dem Spelzmehl; zum Vergleich seien die beiden Ergebnisse nebeneinander gestellt:

	Feines Spelzmehl	Gepulvertes Stroh	Birkenholz
	Verlust in Prozenten		
für Zellmembran	61·88	61·65	55·84
Zellulose	73·54	74·46	60·78
Pentosan der Zellmembran	63·54	86·64	55·4
Restsubstanz	21·03	10·37	—

II. Stroh bei 4 Atmosphären Druck mit 10 prozentigem Natron aufgeschlossen.

Nach den Angaben der fabrikmäßigen Darstellung lieferten 420 Kilo trockenes Urstroh 271·2 Kilo = 64·02 Prozent fertige Produkte, die dabei auftretenden löslichem Produkte wurden mit 6500 Liter warmen und 25000 Liter kalten Wasser ausgewaschen, das Material dann getrocknet, gemahlen und fein gesiebt. Ob bei letzterem Verfahren eine qualitativ

ungleiche Scheidung eintritt, ist nicht festgestellt. Das Pulver hat eine mehr graue Farbe gegenüber der gelben des Urstrohes. Über Zusammensetzung und Ausnützung geben die nachstehenden Tabellen Aufschluß.

Strohmehl aufgeschlossen mit Alkali bei Druck (Nr. 4a).

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 67·3 g pro Tag
Asche	3·07	2·67
Organisch	96·93	65·23
N	0·08	0·05
Pentosan	27·43	18·46
Zellmembran	77·50	52·15
davon Zellulose	56·43	37·96
,, Pentosan	19·00	12·79
,, Rest	2·07	1·39
Verbrennungswärme	416·0	279·9
löslich	19·43	13·08
davon Pentosan	8·4 (= 43·23 Prozent)	

	In 100 Teilen Zellmembran
Zellulose	72·81
Pentosan	24·52
Rest	1·67

	In 100 Teilen Kot	In 64·7 g pro Tag
Asche	8·07	5·22
Organisch	91·93	59·48
N	2·32	1·50
Pentosan	19·33	12·51
Zellmembran	61·21	39·60
darin Zellulose	41·21	26·71
,, Pentosan	14·24	9·21
,, Rest	5·76	3·68
Verbrennungswärme	407·9	263·9

Durch das Kochen mit Natronlauge ist das Stroh so ziemlich N-frei geworden. Das Auswaschen hat aber kein Produkt geliefert, welches ganz von wasser- und alkohollöslichen Stoffen frei wäre, denn es fanden sich von letzteren (96·93 – 77·5) 19·43 Prozent. Hiervon wären etwa noch 1·1 g als Rohfett in Abzug zu bringen. Die Verbrennungswärme des aufgeschlossenen Strohes ist erheblich geringer wie jene des Urstrohes. Wenn

man nach den Ergebnissen der Fabrikation im großen rechnen darf, so kommen auf 448·6 Kalorien im Urstroh 268·7 Kalorien von aufgeschlossenen = 60·3 Prozent, der Rest 39·7 Prozent geht beim Aufschließen und Auswaschen verloren. Der lösliche Anteil enthält 8·4 g Pentosan, auf 18·33 Teile Gelöstes (abzüglich Fett gerechnet), also 45·8 Prozent. Das Lösliche hier ist natürlich nicht mit den löslichen Substanzen des Urstrohes identisch, sondern nur der Rest der durch Natron löslich gewordenen Substanz, die sich, weil in allen Zellen von Stroh eingeschlossen, nicht ganz hat auswaschen lassen. Die Zellmembran selbst hat hauptsächlich Pentosane und die Restsubstanzen eingebüßt, wie ein Vergleich mit dem Urstroh zeigt:

100 Teile Zellmembran enthalten:

	Urstroh	Aufgeschlossenes Stroh
Zellulose	45·60	72·81
Pentosan	28·91	24·52
Rest	25·49	1·67

Zellulose selbst scheint nicht zerstört zu sein, das Urstroh hatte 35·2 Proz. 64·6 Teile aufgeschlossenes Stroh hatten 36·4 g. Die Verdaulichkeit der Produkte setzt sich also wieder aus zwei Faktoren zusammen, aus der der Zellmembran und aus jenen der noch vorhandenen nicht ausgewaschenen löslichen Substanz. Nimmt man das ganze Präparat und berechnet den kalorischen Verlust, so hat man

als Zufuhr	279·9	Kalorien
,, Ausfuhr	263·9	,,
,, normalen Verlust des Fleisches . .	67·7	,,
Verlust durch das aufgeschlossene Stroh	196·2	Kalorien = 70·9 Prozent.

Der Verlust des aufgeschlossenen Strohes, d. h. der Zellmembranen ist folgender:

Zellmembran	75·93	Prozent
Zellulose	70·3	,,
Pentosan der Zellmembran	72·01	,,

Die Restsubstanzen spielen in der ganzen Bilanz keine Rolle, es werden pro Tag nur 1·39 g dieser unter dem Sammelnamen zusammengefaßten Materie aufgenommen, aber es ist auffällig, in den Ausscheidungen mehr davon, d. h. 3·68 g, wiederzufinden. Da die analytischen Ergebnisse nicht zu bezweifeln sind, muß es sich wohl um folgendes handeln. Bei der Verdauung werden aus der Zellmembran offenbar aus der Zellulose Zwischen-

produkte gebildet, die zwar noch in den gewöhnlichen Reagenzien, wie Alkohol, Wasser, Chloralhydrat, wie sie zur Darstellung der Zellmembranen aus Kot dienen, unlöslich sind, aber den Charakter als Zellulose verloren haben.

Die löslichen Produkte lassen sich nach ihrer Verbrennungswärme wie folgt berechnen:

das aufgeschlossene Präparat hat			416·0 Kalorien
77·5 Zellmembran × 4·294 liefern . .	332·7 Kalorien		
1·1 g Ätherextrakt	10·2 ,,	=	342·9 Kalorien
18·3 g Lösliches			73·1 Kalorien

also rund per 1 g 3993, was sich mit dem reichlichen Gehalt an Pentosanen in dieser Mischung deckt.

Im Kot sind pro Tag enthalten			263·8 Kalorien
davon gehen aber nach direkter Bestimmung in die Zellmembran des Kotes	181·6 Kalorien		
weiter für gelöstes Pentosan (3·3 × 3·9)	12·8 ,,	=	194·4 Kalorien
			79·5 Kalorien
ab für Fleischkot			67·7 ,,
			11·8 Kalorien

Dieser kleine Überschuß ist nebensächlich, er könnte eine geringe Mehrung von Stoffwechselprodukten sein, oder etwa Substanz, die von den an sich löslichen Produkten herrührt.

Eine Mehrung der N-Ausscheidung im Kot läßt sich nicht nachweisen, die N-Abgabe betrug 1·50 g; in der Zellmembran waren 0·45 g, die vielleicht von Produkten des gefütterten Fleisches herrühren können, an den Membranen fest hafteten und nicht löslich waren, diese in Abzug gebracht, liefert der Tageskot 1·05 g N, während bei reiner Fleischkost 1·03 g N zu kommen pflegen.

III. Strohaufschließung ohne Druck.

Das Produkt, gleichfalls von mehr grauer Farbe als das Urstroh, war sehr fein gepulvert und gesiebt. Das Urstroh war 6 Stunden bei 100° gehalten, dann mit 6500 warmem und 25000 Liter kaltem Wasser ausgewaschen worden, wobei 72·3 Prozent an Ausbeute an Trockensubstanz gewonnen wurden.

Zusammensetzung der Ein- und Ausfuhr beim Ausnützungsversuch ergeben nachstehende Tabellen:

Aufgeschlossenes Strohmehl Probe 2, Sieb 0.

	In 100 Teilen trocken	In 66·9 g pro Tag
Asche	2·76	1·85
Organisch	97·24	65·05
N	0·11	0·07
Pentosan	29·36	19·64
Zellmembran	79·39	53·11
Zellulose der Zellmembran	52·72	35·26
Pentosan ,, ,,	20·94	14·00
Rest ,, ,,	5·73	3·85
Verbrennungswärme	418·6	279·9
löslich	17·85	11·94

	In 100 Teilen tr. Kot	In 67·0 g
Asche	14·23	9·53
Organisch	85·77	57·47
N	2·02	1·35
Pentosan	19·77	13·24
Zellmembran	56·11	37·58
Zellulose der Zellmembran	35·24	23·61
Pentosan ,, ,,	14·25	9·55
Rest	6·62	4·42
Verbrennungswärme	391·2	262·1

Der N war etwas weniger vollkommen ausgezogen, der Eingriff überhaupt nicht so weitgehend, wie in der Probe unter Druck. Es war noch etwas mehr Pentosan in der Zellmembran vorhanden. In der Zellmembran war auch mehr Restsubstanz, wie in dem vorigen Präparat. Die Zellmembran der Versuche nebeneinander geben die beste Übersicht.

	Urstroh	Stroh unter Druck	Stroh ohne Druck	Dahlemer Stroh
Zellulose	45·60	72·81	66·40	67·12
Pentosan	28·91	24·52	25·70	26·94
Rest	25·49	1·67	7·85	5·94

Stroh ohne Druck und das Stroh aus Dahlem stimmen fast völlig untereinander überein. Der lösliche Anteil 17·85 Prozent, oder nach Abzug von 1·1 Prozent Fett, = 16·75 enthält 8·42 g Pentosan = 50·2 Prozent von letzteren. Die Verbrennungswärme ist geringer wie beim Urstroh, aber etwas größer wie beim Stroh unter Druck aufgeschlossen. Urstroh enthielt 35·2 Prozent Zellulose, bei dem Verfahren ohne Druck wurden

72·3 Teile Aufgeschlossenes mit 52·73 Prozent Zellulose erhalten, was 38·1 g Zellulose pro 100 Teile Urstroh berechnen läßt. Hier liegt ein Widerspruch vor, denn mehr Zellulose als im Urstroh kann doch nicht erhalten werden. Vielleicht erklärt sich das Ergebnis daraus, daß bei den großen Mengen verarbeiteter Substanz die entnommenen kleineren Proben nicht alle absolut gleicher Zusammensetzung sind. Von 100 Kalorien im Urstroh werden bei dem Verfahren ohne Druck 62·24 Prozent wieder erhalten, bei dem Druckverfahren 60·3, der Unterschied ist also unbedeutend.

Die Verdaulichkeit setzt sich wieder aus den jetzt bekannten zwei Komponenten zusammen, jener der Zellmembranen und jener der löslichen Produkte. Der Gesamtverlust an Kalorien war:

in der Zufuhr		279·9 Kal.
im Kot	262·1 Kal.	
abzüglich für Fleischkot . .	67·7 ,,	= 194·4 Kal.

Verlust = 69·4 Prozent.

Der Verlust der unlöslichen Teile war:

Verlust an Zellmembranen . . .	70·76
,, ,, Zellulose	66·96
,, ,, Pentosan.	68·14

Bezüglich der Restsubstanz ergaben sich die gleichen Verhältnisse wie im vorigen Versuch; statt 3·85 in der Zufuhr kamen 4·42 in der Ausfuhr, also etwas mehr, doch sind die Unterschiede geringer wie im vorigen Versuch. Die Ursachen für dies Verhalten sehe ich in der Einwirkung der Verdauung und Umformung eines Teiles der Zellulose.

Die Natur der löslichen Produkte läßt sich nur nach der Verbrennungswärme fassen:

in dem aufgeschlossenen Präparat waren		. 418·6 Kal.
79·39 Zellmembran × 41·94 = 332·9 Kal.		
in 1·1 g Fett	10·2 ,,	= 343·1 ,,
		75·5 Kal.

für 16·75 g (abzüglich Rohfett) Lösliches, 1 g = 4502 Kalorien. Die löslichen Produkte besitzen hier etwas mehr an Brennwert wie im vorigen Versuch.

Im Harn wurde etwas Pentosan ausgeschieden:

am 1. Tag . . .	0·109 g
,, 2. ,, ...	0·168 g
,, 3. ,, ...	0·120 g
,, Knochentag . .	0·08 g

In dieser Hinsicht steht dieser Versuch also zwischen dem Urstroh und dem vorhergehenden Versuch. Für die weitere Berechnung kommen diese Werte nicht in Betracht, denn 0·135 g Pentosan entsprechen nur 0·53 Kalorien pro Tag an Verlust.

Im Kot wurden pro Tag verloren		262·1 Kal.
davon kommen in Abzug für die Zellmembran		
nach direkter Bestimmung	169·8 Kal.	
für gelöstes Pentosan $3 \cdot 69 \times 3 \cdot 9 =$	14·0 ,,	= 183·8 ,,
		78·3 Kal.
davon geht ab für Fleischkot		67·7 ,,
	bleibt	10·6 Kal.

eine Differenz ohne Belang, welche auf geringe Mehrung von Stoffwechselprodukten oder auf Stoffe unbekannter Art aus der Nahrung herrührend bezogen werden kann.

Die N-Ausscheidung im Kot war 1·35; da in der Zellmembran 0·45 g N pro Tag vorhanden waren, so bleiben nur 0·90 N für die Stoffwechselprodukte des Fleisches, was annähernd mit dem Durchschnitt übereinstimmt. Die Verhältnisse decken sich also mit dem vorigen Experiment.

Über die Eigenschaften der im Wasser löslichen Substanz aus dem zweiten und dritten Präparat kann zusammengenommen gesagt werden, daß die Lösungen ziemlich farblos waren. Das ohne Druck aufgeschlossene Präparat gab eine Lösung, die etwas Kupferoxydhydrat in alkalischer Lösung aufnahm, aber kaum reduzierte, mit kalter Phlorogluzinsalzsäure gaben beide Präparate keine Reaktion, wohl aber — mit einer nach bläulichrot neigenden Färbung in der Hitze. Nach dem Aufschließen mit Salzsäure war erst nach mehrstündigem Erhitzen die Trommersche Probe deutlich.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend läßt sich über die warme Aufschließung mittels Natronlauge bei hoher Temperatur folgendes sagen: Die Aufschließung verändert den eigentlichen Zellulosegehalt nicht, beseitigt einen Teil der Pentosane, das Lignin und einige andere Bestandteile der Zellmembran. Das aufgeschlossene Material hat pro g Trockensubstanz weniger Brennwert, als das Urstroh. Die Aufschließung unter Druck macht nur um weniges mehr Produkte auflöslich, d. h. auswaschbar, wie die Methode ohne Druck.

Von 100 Kalorien im Urstroh werden als verfütterbare Produkte gewonnen:

bei Aufschließen unter Druck . . . 60·3 Kalorien
,, ,, ohne ,, . . . 62·3 ,,

Der Unterschied erscheint praktisch nebensächlich. Der gleichheitlich berechnete Verlust bei der Verfütterung am Hunde war:

angegeben in Kalorien der Zufuhr

beim Urstroh	68·6 Prozent,	also verdaut	31·4 Prozent
bei Aufschluß unter Druck .	70·9 ,,	,, ,,	29·1 ,,
,, ,, ohne ,,	69·4 ,,	,, ,,	30·6 ,,

Für den Hund ist es also gleichgültig, ob man fein gepulvertes Urstroh oder aufgeschlossenes Material gibt.

Das Urstroh wie auch die aufgeschlossenen Präparate bestehen stets aus den eigentlichen Pflanzenzellmembranen und einem mehr oder minder reichlichen Teil löslicher Produkte. Die Zellmembranen des Urstrohes und des behandelten Strohes unterschieden sich wie folgt:

100 Teile Zellmembran enthalten:

	Urstroh	Mit Druckaufschluß	Ohne Druck
Zellulose	45·60	72·81	66·4
Pentosan	28·91	24·52	25·75
Rest	25·49	1·67	7·85

Die Zellmembran nach Aufschließung unter Druck besteht fast nur noch aus Zellulose und Pentosan, dagegen sind Lignine, Hemizellulosen und ähnliches beseitigt. Aus welchen Substanzen der Rest der Zellmembran, abzüglich Zellulose und Pentosane bei dem aufgeschlossenen Material besteht, steht offen. Die nächstliegende Annahme weist auf ein Zurückbleiben eines schwerer durch Alkali angreifbaren Anteils von Restsubstanzen des Urstrohes hin.

Die wasser- und alkohollöslichen Produkte werden erst beim Kochen mit verdünnten Säuren in Zucker übergeführt, welche die Trommersche Probe gaben. Urstroh gibt in der Kälte die Phloroglucinprobe, die löslichen Produkte aus aufgeschlossenem Material erst beim Erwärmen. Die löslichen Produkte des Urstrohes enthalten prozentig weit weniger Pentosane wie jene der aufgeschlossenen Produkte.

Die Verdaulichkeit der Strohproben wird bedingt

a) durch die Verdaulichkeit der Zellmembran und

b) jener der löslichen Produkte, welch letztere offenbar sehr weitgehend resorbierbar sind.

Bei einem Hund, der 1000 Kalorien zur Ernährung im Normalzustand brauchte, wurde folgende Menge aus der Zellmembran und in löslichen Produkten, für den Tag berechnet, nach den Experimenten verdaut:

	Bei Urstroh	Unter Druck aufgeschlossen	Ohne Druck aufgeschlossen
Kalorien insgesamt	93·1	83·7	85·6
Kalorien aus Zellmembran .	89·6	53·9	65·1
also aus löslichen Produkten .	3·5	29·8	20·5

Die verdauten Kalorien bestehen bei aufgeschlossenem Material zu einem nicht unerheblichen Teil aus gelösten Produkten, die mit Wasser schwer auswaschbar und zum Teil vielleicht nur in Alkohol löslich sind. Der höchste Nutzeffekt der Resorption macht beim Hunde 8 bis 9 Prozent der Gesamtnahrung aus, der aus Zellmembran selbst stammende Teil bei aufgeschlossenem Material nur 5 bis 6 Prozent, die als aufgenommen berechneten Stoffe sind zu hoch in Anschlag gebracht, weil der Nutzeffekt der Zellmembran durch Gärung im Darme Verluste erleidet. Die Verluste im Harne sind nicht wesentlicher Natur.

Aus Vorstehendem läßt sich berechnen, ob durch die Überführung des Strohes in aufgeschlossenen Material ein Mehrgewinn an Verdaulichem erzielt wird.

			Kal. insgesamt	Kal. in Zellmembr.
	100	Teile Urstroh liefern verdaulich	140·6	135·4
=	64·6	,, unter Druck aufgeschlossenes Stroh	78·2	52·4
oder	72·3	,, ohne Druck	92·5	70·1

Für den Darm des Hundes wäre die Aufschließung ein Verfahren, das keinen Gewinn an Nährstoffen bedeutet.

Behandeln der Zellmembranen mit Alkali bei Zimmertemperatur.

a) Birkenholz.

Im Zusammenhang mit den vorhergehenden Versuchen der Aufschlie schließung von Stroh bei hoher Temperatur mag noch der Einfluß von Alkali bei gewöhnlicher Temperatur erwähnt sein. Der Ausgangspunkt meiner Untersuchungen hatte keinerlei Beziehung zu den Bestrebungen das Stroh für den Wiederkäuer aufzuschließen, diese Frage lag mir fern, vielmehr habe ich[1] an eine ältere Angabe W. Hoffmeisters angeknüpft. Er war der Ansicht, die Zellulose könne man mit 5 Prozent Alkali in zwei Teile, eine leicht und eine schwerverdauliche Substanz zerlegen, wofür er auch sonst nicht weiter beschriebene Versuche anführt. Ich habe diese Angabe nachgeprüft, indem ich Birkenholz mit 5 Prozent Kalilauge

[1] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 83.

24 Stunden behandelte, dabei wurden 28·6 Prozent des Holzes aufgelöst; das löslich Gewordene war nicht Zellulose, sondern zu $^7/_{10}$ Pentosan. Das extrahierte Birkenholz selbst habe ich mit kaltem, dann kochendem Wasser gründlich ausgewaschen, getrocknet und verfüttert. Das mit Kali extrahierte Material stellte dann die nach Hoffmeisters Annahme schwerer verdaulichen Komponente dar. Einen solchen Unterschied der Verdaulichkeit habe ich nicht gefunden, der Verlust der Zellmembran war:

a) ohne Kalibehandlung . . . . . . 69·79 Prozent
b) nach ,, ... 69·95 ,,

Sie zeigte nach Behandlung mit Kali Quellungsvorgänge, aber trotzdem keine wesentlich verschiedene Verdaulichkeit. Die Behauptung Hoffmeisters, daß das in Kali Lösliche aber verdaulicher sei, ist trotzdem richtig. Das Kalilösliche sind jene Substanzen, auf welche ich schon oben bei dem aufgeschlossenen Stroh hingewiesen habe, wo sie als nicht ausgewaschene Reste der Alkaliauflösung auftraten. Auch wenn man nur die Zellulose ins Auge faßt, fand sich keine nennenswerte Verschiedenheit der Verluste, nämlich:

a) ohne Kalibehandlung . . . . . 59·5 Prozent
b) nach ,, ... 62·9 ,,

Das sind bei den oft großen Schwankungen der Zelluloseauflösung geradezu übereinstimmende Werte. Wie wir jetzt zu sagen hätten, würde also die Aufschließung keine Bedeutung gehabt haben, sicher wenigstens nicht, insoweit die unlöslichen Produkte in Frage kommen.

Die vorhergehenden Versuche mit Strohaufschließung haben in dieser Richtung ganz genau das gleiche Resultat gegeben, wie das schon früher für die Birke erwiesen wurde.

b) Mit Alkali bei gewöhnlicher Temperatur aufgeschlossenes Stroh.

Im April 1917 sind mir zwei Präparate dieser Art von Geheimrat B. zugegangen, die unter Anwendung verschiedener Konzentrationen von Lauge gewonnen worden waren.

Ich gebe zunächst deren Zusammensetzung wieder. Das Ausgangsmaterial selbst habe ich nicht untersucht, es darf hinsichtlich dieses Umstandes auf die S. 52 gegebenen Analysen verwiesen sein. Die beiden aufgeschlossenen Strohsorten waren sehr ähnlich zusammengesetzt, sie enthielten etwa dieselbe Menge Zellmembran überhaupt, daneben aber reichlich lösliche Produkte, jedoch von verschiedener Zusammensetzung. Präparat I hatte

im löslichen Anteil 38·66, Präparat II aber 61·03 Prozent Pentosane und dementsprechend war auch der Gesamtpentosangehalt verschieden. In vielen Richtungen sind übrigens hier ähnliche Verhältnisse, wie bei dem 100° aufgeschlossenen Stroh, die Zellmembran besteht in überwiegender Masse aus Zellulose.

In 100 Teilen Trockensubstanz:

	Stroh I[1]		Stroh II[1]	
Asche	2·23		2·15	
Organisch	97·77		97·85	
N	0·11	= 0·69 Protein	0·18	= 1·12 Protein
Pentosan	20·26		27·25	
Zellmembran	72·55		73·05	
darin Zellulose	56·41		55·26	
,, Pentosan	11·20		13·47	
,, Restsubstanz	4·94		4·32	
Kalorien	433·3		440·4	
Löslich	23·43	Prozent	22·58	Prozent
mit 9·06 Pentosan =	38·66	,,	mit 13·78 g Pentosan = 61·03 Prozent.	

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	Stroh I	Stroh II
Zellulose	77·75	75·64
Pentosan	15·60	18·44
Restsubstanz	6·65	5·92

Der Hauptunterschied liegt also nicht im Verhalten der Zellmembran, sondern in dem der löslichen Substanzen.

Frisch dargestellt und verfüttert war das Ergebnis ein recht ungünstiges, was die Resorbierbarkeit anlangt. Ich habe an dem Versuchshund täglich mit 1000 g Fleisch je 70 g des lufttrockenen Präparates fein gemahlen verfüttert.

Strohhäcksel I war mit 30 Prozent Natronlauge behandelt, dann gründlich ausgewaschen worden. Vor der Fütterung wurde es in einer Laboratoriumsmühle fein gemahlen.

Was die Zusammensetzung der Zufuhr und Ausfuhr anlangt, so geben darüber folgende Tabellen Aufschluß.

---

[1] etwa 1·1 Prozent Ätherextrakt.

Stroh I.

In 70 Teilen Zufuhr = 67·9 g trocken

1·51
66·4
0·07
13·72
49·25
38·28
7·69
3·28
294·2

	In 100 Teilen Kot:	für 80·0 g pro T.
Asche	1·16	0·93
Organisch	98·84	79·07
N	3·21	2·57
Pentosan	17·12	13·70
Zellmembran	59·83	47·86
Zellulose	46·95	37·56
Pentosan	7·16	5·72
Rest	5·72	4·57
Verbrennungswärme .	4·803	384·0

Das Stroh war sehr arm an N, ziemlich reich an Pentosan, aber ärmer als natürliches Stroh im Durchschnitt davon enthält. Zieht man die Zellmembran, Ätherextrakt + Rohprotein von der organischen Substanz ab, so bleiben 23·43 Prozent, also etwa $^1/_4$ an Bestandteilen, die als lösliche angesehen werden müssen, auf diese treffen (20·26 – 11·20) 9·06 g Pentosan = 38·66 Prozent Pentosan.

Von einem unveränderten Stroh unterscheidet sich dieses Präparat durch den hohen Zellulosegehalt (s. oben S. 52).

Der Gesamtkalorienverlust ergibt sich aus der Zufuhr = 294·2 Kalorien und den Ausscheidungen von denen 67·7 Kalorien als normaler Verlust bei Fleischfütterung in Abzug kommen, bleiben 316·5, Kal., d. h. es ist ein Gewinn an Nährstoffen überhaupt nicht eingetreten, sondern ein Verlust, der auf verminderte Resorption des gefütterten Fleisches bzw. Mehrung der Kotbildung zurückzuführen ist. Dies schließt nicht aus, daß von dem eingeführten Präparat ein Anteil zur Resorption gekommen ist. Betrachtet man nun die Verhältnisse der Zellmembran und ihrer Bestandteile, so läßt sich das Nähere leicht feststellen.

Es wird verloren von 100 Teilen:

Zellmembran	97·19
Zellulose der Zellmembran	98·12
Pentosan ,, ,, ...	74·51

Von dem Pentosan wurde aber nichts resorbiert, obschon doch freie Pentosane in dem löslichen Anteil des Präparates vorhanden waren, jedenfalls blieb auch das Wenige, was an Pentosan aus der Zellmembran freigemacht worden war, unresorbiert liegen. Alles dies weist also auch auf eine besondere Störung hin, die wahrscheinlich im Alkaligehalt des Strohpräparates gelegen haben dürfte.

Ganz ähnlich verhielt es sich im Versuch II, wie nachstehende Zahlen kurz ergeben.

Stroh II.

In 70 g = Zufuhr 66·5 g trocken

1·42
65·08
0·12
18·00
48·57
36·73
293·4

In 100 Teilen Kot:		pro 83·2 g pro Tag
Asche	13·12	10·90
Organisches . . .	86·88	72·30
N	1·95	1·62
Pentosan	17·33	14·42
Zellmembran . .	57·55	47·89
Zellulose	40·50	33·69
Kalorien	420·9	350·1

Eine eingehende Besprechung erübrigt sich, nur mag erwähnt sein, daß der N-Verlust hier nicht so stark gesteigert war und vom Pentosan wenigstens ein Teil zur Resorption kam. Von 283·4 Kalorien im Stroh kamen mit dem Kote 350·1 — 67·71 = 282·4 zu Verlust, hier ist der letztere wesentlich geringer, einige Prozente sind also zur Resorption gelangt.

Nachdem ich inzwischen die Untersuchungen an anderem aufgeschlossenen Material gemacht hatte, schien es mir durchaus bewiesen, daß diese kalt aufgeschlossenen Präparate nur einem nebensächlichen Umstand ihre

schlechte Resorbierbarkeit zuzuschreiben hatten. Ich habe daher nach vier Monaten wenigstens mit Präparat I eine neue Versuchsreihe angestellt. Wenn nur das freie Alkali an der schlechten Ertragbarkeit die Schuld trug, so war inzwischen ausreichend Zeit verflossen, um aus dem freien Alkali die an sich unschädlichen Karbonate in allen Schichten des Strohes herzustellen. In der Tat verhielt sich jetzt die Sache völlig anders.

Gefüttert wurden wieder 70 g lufttrockenes Präparat und 1000 g Fleisch pro Tag. Das Ergebnis enthält folgende Tabelle:

Stroh I. 2. Versuch.

	In 100 Teilen Kot:	in 70·5 g pro Tag
Asche	20·25	14·27
Organisch	79·75	56·23
N	1·69	1·19
Pentosan	13·59	9·58
Zellmembran	48·45	34·17
Zellulose	31·91	22·50
Pentosan	7·13	5·02
Rest	9·41	6·65
Verbrennungswärme	370·0	237·6

100 Zellmembran enthalten:

Zellulose	65·86
Pentosan	14·72
Rest	19·42

Daraus folgt, daß sich dieses Präparat in seiner Resorption durchaus nicht so ungünstig stellt. Von den Kalorien gingen im ganzen von 294·2 der Zufuhr (237·6 – 67·7) = 169·9 oder in Prozent 57·74 verloren. Irgendeine Störung des Darmes lag jetzt nicht mehr vor, der Kot enthielt 1·19 g N pro Tag, in der Zellmembran des Kotes waren aber 0·28 g N, so daß nur 0·91 g N für den Fleischkot treffen, während im Durchschnitt 1·03 zur Ausscheidung kommen.

Von 100 Teilen wurden verloren:

bei der Zellmembran	69·37
Zellulose	58·78
Pentosan der Zellmembran	65·28

Das erinnert ganz an die früher mitgeteilten Resultate bei Stroh mit Aufschluß bei hoher Temperatur. Ein näherer Vergleich ist ausgeschlossen, weil ja das Ausgangsmaterial hier nicht bekannt war. Das Pentosan, auch das nicht in der Zellmembran gebundene, wird schwer resorbiert, das ist

aber auch bei anderen ähnlichen Präparaten ebenso. In dem Harn sind nur Spuren von Pentosanen nachweisbar gewesen. Den Beweis völliger Reizlosigkeit des Präparates für den Darm kann man leicht durch folgende Betrachtung erbringen:

Im Kot wurden ausgeschieden		237·6 Kal.
in 34·2 g Zellmembran des Kotes sind (× 4·2 Kal.)	143·6	
in 1·77 g Protein (× 5·88)	10·4	
in 4·56 freiem Pentosan (× 3·9)	17·8	= 171·8 ,,
bleibt Rest für Fleischkot		65·8 Kal.
für Fleischkot wurde sonst erhalten		67·7 ,,

Die Differenz liegt innerhalb der Fehlerquellen, es hat keine Steigerung der Stoffwechselprodukte, also keine Reizung des Darmes stattgefunden. Im Kot erscheint etwas mehr Restsubstanz wie in der Einnahme, dies ist ein Vorkommnis, das auch bei den durch Wärmeaufschluß behandelten Stroh schon beobachtet und dort erklärt wurde.

Die Aufschließung bei Zimmertemperatur liefert also ein Material das in seiner Resorptionsfähigkeit, wenn es frei von Ätzalkali ist, auch den anderweitigen Aufschließungsmethoden kaum nachsteht.

Die Verwertung aufgeschlossenen Strohes für die Ernährung des Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Mit Rücksicht auf die zahlreichen Methoden und Versuche der Strohaufschließung und die Bedeutung, welche diese Produkte für die Tierhaltung erlangt haben, schien es angemessen, die Verhältnisse auch beim Menschen einer Durchprüfung zu unterziehen. Dies um so mehr, als tatsächlich gleich bei der Propaganda im Winter 1916/17 für die Strohaufschließung mit Alkalien die Empfehlung, damit auch das Brot des Menschen zu strecken — um Nährmittel für die Tierhaltung frei zu machen — auftauchte.

Das Ergebnis an Hunden zeigte mit Bestimmtheit, daß die aufgeschlossenen Präparate dieser Art heute in einer Weise hergestellt sein können, welche innerhalb der allerdings engen Grenzen der optimalen Resorptionsfähigkeit der Zellmembran eine Störung der normalen Verdauung nicht herbeiführen, wenigstens nicht in kurzer Zeit; wie eine langdauernde, monatelange Belastung des Darmes sich verhalten würde, steht dahin, bietet aber kein besonderes Interesse.

Die Versuche zeigten, daß man in der alkalischen Aufschließung kein Mittel besitzt, um für den einfacher gebauten Darm des Fleischfressers die gefütterte Zellmembran grundsätzlich so zu ändern, daß sie in erhöhtem Maße auflösbar würde, obschon der Darm des Hundes bestimmten Zellmembranen gegenüber eine solche Fähigkeit starker Auflösung besitzt.

Daß sich die Verhältnisse der Resorption aufgeschlossenen Strohes beim Menschen prinzipiell ganz anders gestalten sollten, wie beim Hunde, ist unwahrscheinlich, aber es läßt sich a priori der etwaige Grad einer Abweichung nicht voraussagen, zumal dieses auch von der Nahrungsart abhängt, in deren Verband die Verfütterung der Zellmembran erfolgt. Bestimmt zum Brotzusatz kann das Strohmehl quantitativ anders wirken, wie etwa im Fleisch. Immerhin ist folgendes sicher: Das aufgeschlossene Stroh hat manche Ähnlichkeit mit Spelzmehl, daher darf man auch ver-

muten, daß es sich in den Resorptionsverhältnissen beim Menschen diesem gleich oder sehr ähnlich verhält. Auch in allgemeiner Richtung wird der Wert des Strohmehls in Analogie zu dem Spelzmehl in die gleiche Formel zu bringen sein. Der Zusatz von Spelzmehl bedeutete eine vom Standpunkt des Stoffwechsels und der Nährstoffbeschaffung zwecklose Maßregel, die in diätetischer Hinsicht die Qualität des Brotes herabdrückte, in hygienischer Hinsicht beim Gesunden durch die Kotmasse und Gärung belästigt und den Kreis der Personen, die derartiges Brot ohne Schädigung für den Darm ertragen können, sehr einschränkt.

Da es sich aber bei der Aufschließung des Strohes um eine Maßregel handelt, von der man in manchen Kreisen ein die Brotversorgung umwälzendes Ereignis erwartet, so kann dieser Umstand vielleicht es rechtfertigen, beim Menschen eine solche besondere Prüfung vorzunehmen, obschon der Wert der Belehrung durch objektive Befunde bei der herrschenden Bewegung ziemlich gering einzuschätzen ist.

Für einen solchen Versuchszweck habe ich tunlichst optimale Verhältnisse gewählt, eine Mischung des aufgeschlossenen, Materials mit feinstem Weizenmehl, weil dabei die Aufnahme der aufgeschlossenen Zellmembranen nicht durch gleichzeitig verzehrte andere Zellmassen, wie sie im Kriegsbrot sind, gestört oder durch Überlastung des Darmes mit Unverdaulichem die Grenzen der günstigen Resorptionsfähigkeit überschritten wird.

Der Verwendung von halbverdaulichem Material wie Spelzen und Stroh, sind bestimmte diätetische Grenzen gezogen, die Brotqualität sinkt sehr rasch, selbst bei nur mäßigen Zusätzen, und höher wie auf 10 Prozent wird man schon aus diesen Gründen nicht gehen können, die Zähigkeit des Brotes nimmt zu, die Austrocknung wird begünstigt.

So verhielt es sich in der Tat auch für das Brot, das aus einer Mischung von 90 Teilen feinstem Weizenmehl mit 10 Prozent Strohmehl (bei 4 Atm. und 10 Prozent Natron aufgeschlossen) gemengt war. Das Brot wird durch den Zusatz bräunlich, etwa wie Brot aus voll ausgemahlenem Roggen, ferner verliert das Weizenbrot seinen guten würzigen Geruch, es hat keinen ausgeprägten Geschmack, auch nicht bei starkem Durchkauen. Gebacken war das Brot ausgezeichnet, gleichmäßig, feinblasig, zeigte aber auch eine übermäßige Härte beim Trocknen; die kleinen Brotteilchen lösen sich langsamer im Speichel, bleiben daher leicht an der hinteren Rachenwand lange hängen. Der Kot ist sehr massig, aber nicht allzu fest, Gasbildung stark. Der Kot ist von Gasblasen auf dem ganzen Durchschnitt durchsetzt. Nach diesem allgemeinen Urteil mögen die näheren Ergebnisse der Versuche berichtet werden. Ausgeführt wurde eine sechstägige Reihe an zwei Soldaten, die früheren Versuchspersonen waren einberufen, es

mußte daher ein Personalwechsel eintreten. Die beiden Leute M. und K. aßen nach Bedürfnis, d. h. freier Wahl; neben Brot erhielten sie kleine Mengen Zucker und Fett. Das Nähere enthält die Tabelle.

Woche. Strohbrot 4 a. Münch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung				Brot	Harn		Kot		
			Brot	Zucker	Fett	Milch	frisch berechnet		N	Zeit	frisch	trocken
		kg	g	g	g	Liter	g	ccm	g		g	g
5. VI.	1.	70·0	1352	—	—	—	1352·0	1380	7·6	—	—	—
6. „	2.	68·4	1145	35	34	1/8	1151·5	1200	9·5	10h v.	220	75
7. „	3.	68·4	1150	5	34	1/8	1163·0	940	8·8	12 „	270	83
8. „	4.		1175	—	—	—	1187·9	1020	9·0	11 „	372	107
9. „	5.		1140	—	—	—	1153·4	1260	9·4	10 „	185	65
										2 n.	255	57
10. „	6.		1117	—	30	—	1128·7	880	9·1	11 v.	307	100
11. „	7.						7136·5	1620	9·6			487
					pro Tag g		1189·4					
					trocken =		734·3					

Woche. Strohbrot 4 a. Kurgas.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Brot	Zucker	Fett	Milch	Brot frisch berechnet	Harn ccm	N	Kot Zeit	frisch	trocken
5. VI.	1.	62·5	1060	50	80	—	1060·0	1880	8·3	—	—	—
6. „	2.	61·0	995	55	54	—	1006·7	2100	9·4	10h 15 v.	295	123
7. „	3.	59·4	920	55	54	—	924·9	1340	7·4	9 „	235	120
8. „	4.		830	50	—	—	839·5	1660	7·1	9 „	310	125
9. „	5.		965	—	50	—	975·9	1200	7·6	9 „	210	50
10. „	6.		725	50	50	—	735·5	920	7·1	9 „	200	45
11. „	7.						5542·5	1480	7·5			463
					pro Tag g		923·5					
					trocken =		570·3					

Brot 1490 g frisch = 920 g trocken = 61,74 Prozent Trockensubstanz.

Person K. (rund 60 Kilo) verzehrt pro Tag in Brot	2372·9 Kalorien
in Fett 48 g	446·4 „
in Zucker 43·3 g	173·2 „
im ganzen	2992·5 Kalorien[1]
Person M. (70 Kilo) verzehrt pro Tag in Brot	3055·0 Kalorien
in Fett 16·3 g	151·5 „
in Zucker 6·6 g	26·4 „
im ganzen	3232·9 Kalorien[1]

[1] Die Reinkalorien ergeben sich aus dem Umsatz der Kalorien abzüglich der Kalorien im Harn (1 N = 8·02) und des Kotes für Kurgas = 2584·2 — 43·07 pro Kilo, für Münch = 2824·6 = 40·35 pro Kilo.

Die eine Person war etwas verwöhnter und konnte sich nicht entschließen, das Brot zu genießen wie es war, Person M. hat nur ausnahmsweise kleine Zusätze von Zucker und Fett genommen. Beide Personen kamen ungefähr auf die gleiche Kalorienmenge pro Kilo. Was die Eiweißbilanz anlangt, so zeigte sich folgendes:

	N-Aufnahme	N im Harn	N im Kot	Summe der Ausscheidung	Differenz
Münch	12·27	7·6	1·79	9·4	+ 2·9
	10·50	9·5	,,	11·3	— 0·8
	10·80	8·8	,,	10·6	— 0·2
	11·00	9·0	,,	10·8	— 0·2
	10·70	9·1	,,	10·9	— 0·2
	10·50	9·6	,,	11·4	— 0·9
			Mittel:	10·7	
Kurgas	9·85	8·3	1·97	10·27	— 0·42
	9·36	9·4	,,	11·37	— 2·01
	8·59	7·4	,,	9·37	— 0·78
	7·80	7·1	,,	9·07	— 1·27
	9·07	7·6	,,	9·57	— 0·50
	6·83	7·1	,,	9·07	— 2·24
		7·5	Mittel:	9·8	

Das Brot hatte 61·74 Prozent Trockensubstanz und 0·93 Prozent N. M. war annähernd im Gleichgewicht, K. gab dauernd noch vom Körper an N nicht unerheblich ab.

Über die Zusammensetzung des Brotes und die Ausscheidungen geben nachfolgende Tabellen Aufschluß.

Münch.

In 100 g Brot:		in 734·3 g pro Tag
Asche	1·75	12·86
Organisch	18·25	721·44
N	1·53	11·23
Pentosan	13·04	47·87
Zellmembran	7·99	58·66
Zellulose der Zellmembran	4·97	36·47
Pentosan ,, ,,	1·82	13·36
Rest ,, ,,	1·20	8·83
Stärke	74·40[1]	546·20
Verbrennungswärme	416·1	3055·3

[1] Direkt bestimmt.

In 100 g Kot sind:		in 79·1 g pro Tag
Asche	4·54	3·59
Organisch	95·46	75·51
N	2·27	1·79
Pentosan	17·44	13·79
Zellmembran	62·85	49·71
Zellulose der Zellmembran	40·41	31·96
Pentosan ,, ,,	15·12	11·96
Rest ,, ,,	7·32	5·79
Stärke	5·56[1]	4·40
Kalorien	423·3	334·82

Kurgas.

In 100 g Brot:		in 570·3 g
Asche	1·75	9·98
Organisch	98·25	560·30
N	1·53	8·72
Pentosan	6·52	37·08
Zellmembran	7·99	45·56
Zellulose der Zellmembran	4·97	28·34
Pentosan ,, ,,	1·82	10·37
Rest ,, ,,	1·20	6·84
Stärke	74·40	424·30
Verbrennungswärme	416·1	2672·9

In 100 Teilen trockenem Kot:		in 73·7 g Kot
Asche	7·11	5·26
Organisch	92·89	68·44
N	2·68	1·97
Pentosan	15·05	11·06
Zellmembran	56·95	41·97
Zellulose der Zellmembran	37·30	27·48
Pentosan ,, ,,	12·97	9·56
Rest ,, ,,	6·68	4·93
Stärke	4·39[1]	3·23
Kalorien	454·7	335·1

Um die Art des Brotes näher zu schildern, wird es zweckmäßig sein, auch die Zusammensetzung des feinen Weizenmehls, des aufgeschlossenen

[1] Direkt bestimmt.

Strohmehls und des mit Strohmehl gemischten Brotes nach den wesentlichen Punkten nebeneinander zu stellen:

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	Feinstes Weizenmehl[1]	Aufgeschlossenes Stroh	Brot mit Strohmehl aufgeschlossen
Asche	2·30	3·07	1·75
Organisch	97·70	96·93	98·25
N	1·83	0·08	1·53
Pentosan	4·52	27·43	6·52
Zellmembran	1·26	77·50	7·99
Zellulose	(0·53)	54·43	4·97
Verbrennungswärme	423·8	416·0	416·1

Was die Ausscheidungen anlangt, so war der Kot sehr reichlich, relativ von hoher Trockensubstanz, die Verluste betragen:

	Kurgas	Münch	Mittel
Gesamt-Kalorien	14·62	10·95	12·78
N	22·47	15·90	19·18
Stärke	0·76	0·80	0·78
Zellmembran	92·12	84·70	88·41
Zellulose der Zellmembran	96·90	87·60	92·27
Pentosan ,, ,,	92·19	89·52	90·85
Restsubstanz ,,	72·07	65·57	68·82
Pentosan im ganzen	29·82	27·58	28·70

Die beiden Personen stimmen in der Ausnutzung nicht ganz überein, Kurgas hat, obschon er weniger aß als Münch eine etwas geringere Verdaulichkeit, die sich bei allen Stoffen gleichmäßig bemerkbar macht. Wenn man die Gesamtausnützung nach Kalorien mit Roggenmehl von 82 bis 95 Prozent Ausmahlung vergleicht, so ist da der Verlust 13·5 bis 14·8 Prozent, bei einem Weizenmehl von 80 Prozent Ausmahlung hatte ich 11·12 Prozent gefunden. Wie sich aus der prozentigen Beimengung der Zellmembran schon ergab, hatte das mit aufgeschlossenem Stroh vermengte Brot in seiner Zusammensetzung sich einem weit ausgemahlenen

---

[1] Das Weizenmehl war nicht genau das zum Verbacken des Strohmehls benützte, aber doch von möglichst gleicher Beschaffenheit.

Das Brot mit Strohmehl versetzt, ist also pentosanreicher und so reich an Zellmembran, als etwa 90 bis 95prozentiger Ausmahlung eines durchschnittlichen Roggens entsprechen würde.

Korn nähern sollen, das ist auch geschehen. Die eine Person verdaute so gut, als man es bei einem Weizenbrot von etwa 80 Prozent hätte verlangen können, also außergewöhnlich gut, Person K. entspricht etwa den durchschnittlichen Verhältnissen. Die Zellmembran ist auch beim Menschen schlecht aufgenommen worden, weit schlechter als z. B. die Kleiezellmembranen resorbiert werden. Ein Vergleich zwischen der Verdaulichkeit verschiedener Zellmembranen beim Menschen zeigt folgendes:

Es wird verloren von 100 Teilen:

	Aufgeschlossenes Stroh	Weizenbrot (Kleie)	Roggenbrot (Kleie)	Spelzmehl (fein)
Zellmembran	88·41	53·04	55·5	66·0
Zellulose	92·27	97·58	61·40	59·5
Pentosan	90·85	38·73	59·10	66·1
Rest	68·82	44·18	52·1	59·5

Von allen aufgeführten ähnlichen Zellmembranen wird also das aufgeschlossene Stroh am wenigsten gut verwertet.

Ein Vorzug einer Aufschließung ist beim Menschen also ebensowenig wie beim Hunde nachzuweisen. Die Aufschließung durch Säuren, wie durch Alkali, kann demnach eine Erhöhung der Verdaulichkeit nicht erreichen, doch erweist sich der Menschendarm als befähigt, bestimmte Zellmembranen hochgradigst aufzulösen, wie das für Wirsing und gelbe Rüben bewiesen worden ist. Bildet aber eine schwer verdauliche Zellmembran das Objekt der Aufschließung, so bringt diese selbst keinen weiteren Nutzen für die Verdaulichkeit zustande.

Das kann als sicheres Ergebnis und als Richtlinie für die Zukunft festgehalten werden. An dieser Stelle mag auch nochmals daran erinnert sein, daß man der weitgehenden Zerkleinerung keine allgemein gültige Bedeutung für die Auflöslichkeit der Zellmembranen zuzuerkennen vermag. Hat durch Zermahlung die Masse etwa mehlartigen Charakter erreicht, so habe ich oft beobachtet, daß die weitere Zerkleinerung und Trennung durch feinste Siebe keinen besseren Erfolg erzielt. Die beliebige Vergrößerung der Angriffsflächen bemißt man rein theoretisch für diese Fälle als zu wesentlich, in Wirklichkeit kommt ihr diese Bedeutung nicht immer zu. Ich habe das bei den Versuchen am Hunde mit aufgeschlossenem Stroh und auch beim Säugling bei Spinatzugabe usw. nachgewisen.

Wie ich schon bei den Versuchen mit Spelzmehl zeigen konnte, ist ein wirklicher Nutzeffekt, der sich in beachtenswerter Größe in der Resorption an Zellmembran ausdrückt, nicht vorhanden.

Man könnte aber meinen, die Bedingungen der Resorption wären vielleicht bei aufgeschlossenem Stroh günstiger, weil es zusammen mit feinem Weizenmehl zum Genuß kam, wobei die Gesamtmassen der täglich zu verdauenden Zellmembranen natürlich klein sind. Eine solche Annahme bestätigt sich nicht. Die maximalste Größe der im Tag in der Zellmembran zur Auflösung gekommenen Substanzen beträgt

bei M. 8·95 g × 4·109 = 36·77 Kalorien pro Tag
,, K. 3·59 g × 4·258 = 15·3 ,, ,, ,,

Auch davon käme noch wegen Vergärung usw. ein Teil in Abzug. Die zu gewinnenden Nährwerte durch eine Beimengung von 10 Prozent aufgeschlossenes Stroh zur Tagesnahrnng bei ausschließlichem Brotgenuß beträgt also sicher weniger als 0·5 bis 1 Prozent der Gesamtnahrung.

Außer der Zellmembran sind die löslichen Stoffe des Strohmehles jedenfalls größtenteils, wenn nicht ganz, zur Resorption gelangt. Hierüber kann ich vorläufig keine näheren Angaben machen, zur Beantwortung dieser Frage müßte man wissen, wie das verfütterte Brot ohne das aufgeschlossene Stroh sich verhalten hätte, weil dann bewiesen werden könnte, welche Mengen in Kalorien das reine Mehl geliefert hat. Ich komme auf diese Frage am Schlusse zurück. Es erübrigt noch, die N-Ausscheidung und die Bildung der Stoffwechselprodukte näher zu betrachten.

Der Verlust an N war sehr ungleich. Es läßt sich feststellen, auf welche Unterschiede das zurückzuführen ist. Bei Person K. waren 1·97 g N pro Tag entleert worden. Im Kot befand sich wie stets, wenn Eiweißstoffe verfüttert werden, eine gewisse Menge Protein, an die Zellmembran gebunden. In diesem Fall bei K. 0·797 g N, bei Person M. 0·608. Zieht man diesen Wert von der Gesamt-N-Ausscheidung ab, so bleibt

bei M. . . . . 1·18 g N
,, K. . . . . 1·17 g ,,

welche als Stoffwechselprodukte anzusehen sind und bestens übereinstimmen. Unresorbiert bleiben bei M. (von 11·23 N 0·608) = 5·41 Prozent, bei K. (von 8·72 N 0·797) = 9·14 Prozent des aufgenommenen Eiweißes. Hier liegt also ein individueller Unterschied in der Eiweißresorption vor. Von dem entleerten N sind bei M. 65·92, bei K. 59·39 Prozent Stoffwechselprodukte.

Die Gesamtmenge der Stoffwechselprodukte, so weit sie kalorimetrisch erfaßt werden können, ergeben sich aus nachfolgenden Tabellen.

Unresorbierbares und Stoffwechselprodukte im Kot.

Person	Verlust an Kalorien im Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kal im Kot aus Stoffwechselprod.	Verzehrte Kalorien im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprod.	Von 100 Kalorien im Kot treffen auf Stoffwechselprod.
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
Münch	18·01	204·25	7·13	229·44	334·82	105·38	3055·3	3·44%	31·44%
Kurgas	13·24	178·83[2]	5·85	197·22	335·10	137·13	2672·9	4·12	40·93
							Mittel:	3·78%	36·18%

Die Menge der Stoffwechselprodukte macht im Durchschnitt 3·78 Proz. der in dem Brot verzehrten Kalorien aus. Da der Gesamtverlust der Kalorien im Mittel 12·78 Prozent betrug, so entfallen 9 Prozent der Zufuhr auf Unverdautes. Das relative Verhältnis der Stoffwechselprodukte zum Gesamtverlust im Kot ist niedriger, als ich es in manchen anderen Experimenten bisher beobachtet habe. Dies Ergebnis würde mit der Anschauung wohl in Einklang zu bringen sein, daß die Stoffwechselprodukte zwar von mechanischer Reizung des Darmes abhängig sein können, aber nicht abhängig sein müssen, daß vielmehr ihre Bildung mit spezifischen Bestandteilen einer Nahrung im Zusammenhang stehen kann.

Im vorliegenden Falle konnte aber auch der Umstand mitwirken, daß diese Zellmembran viel schlechter verdaulich ist wie manche andere, wodurch dann mehr Unverdauliches ausgeschieden und die Relation zu den eigentlichen Stoffwechselprodukten verschoben wurde; diese Annahme trifft nicht zu, weil die Person K., welche die Zellmembran schlechter resorbierte, im Gegenteil auch relativ mehr Stoffwechselprodukte bildete, es bleibt also wohl nur die Möglichkeit, einen gewissen Reiz auf die Darmwand bei der einen Person anzunehmen.

Ausnützung von Brot aus feinstem Weizenmehl.

Ein Vergleich der Veränderung, welche die Zugabe von aufgeschlossenem Stroh zu feinem Weizenmehl in der Ausnützung hervorruft, sollte durch Parallelversuche an den gleichen Versuchspersonen durchgeführt werden, durch Abkommandierung der Person M. kann sich dieser Vergleich nur auf die Person K. erstrecken. Leider war von derselben Probe des Mehles, die verbacken wurde, nicht ausreichend zurückbehalten

[1] 4·109 Kal. direkt bestimmt.
[2] 4·258.

worden, es konnte aber noch Mehl von gleicher Ausmahlung erhalten werden, mögen dadurch kleine Differenzen auch nicht ausgeschlossen sein, so wird doch die allgemeine Übersicht über die Wirkung des Zusatzes von aufgeschlossenem Stroh nicht unmöglich gemacht.

Bei der Brotbereitung wurde die zuerst von mir bei Kleiebrot gemachte Erfahrung, daß dieses unlösliche Beimengungen enthaltende Brot wasserhaltiger ist als anderes, die sich inzwischen in Dutzenden analogen Fällen bestätigt hat, wieder gemacht. Brot mit aufgeschlossenem Stroh hatte nur 61 Prozent, reines Brot 67 Prozent Trockensubstanz unter vergleichbaren Verhältnissen.

Der Versuch dauerte 6 Tage, seit dem vorhergehenden Experimente hatte K. von der üblichen rationierten Kost, die in dieser Zeit völlig ungenügend war, gelebt und und wohl einige weitere Zuschüsse erhalten, sein Körpergewicht war aber in fortwährendem Absinken. Frei nach Wahl verzehrte er während des Versuchs an den ersten Tagen etwas mehr und stellte sich erst dann auf etwas geringere Nahrungsmenge ein. Im Durchschnitt verzehrte er

654·2 Trockensubstanz im Brot	= 2772·4	Kal. (2372 im früh. Versuch.)
in Zucker	200	,,
in Fett	279	,,
im ganzen	3251	Kal. (2992 im vorigen Versuch)

bei 59 Kilo Gewicht.

Die N-Bilanz war folgende:

	N aufgenommen[1]	N im Harn	N im Kot	Summe	Differenz
1.	12·66	8·5	1·33	9·88	+ 2·78
2.	13·91	7·6	,,	8·93	+ 4·98
3.	12·85	8·7	,,	10·03	+ 2·82
4.	12·48	9·5	,,	10·83	+ 1·65
5.	10·75	9·0	,,	10·33	+ 0·44
6.	11·28	6·2	,,	7·53	+ 3·75

Am Tage vor dem Versuch waren 10·9 g N, am Tage nach dem Versuch gleichfalls 10·9 g N im Harn ausgeschieden worden.

Im ganzen fand ein dauernder N-Ansatz statt, trotzdem N-Überschuß aber keine Steigerung des N-Umsatzes. Im Durchschnitt wurden 9·60 g N umgesetzt = 0·164 g N pro Kilo und 55·5 Kalorien pro Kilo.[2] Eine Körpergewichtszunahme war nicht nachweisbar. Feines Weizenbrot ge-

[1] 100 g Brot = 1·23 g N.

[2] Der wirkliche Nahrungsumsatz dieser Reihe, der einiges Interesse besitzt, läßt sich in folgender Weise ableiten:

hört zu den bestverdaulichen Nahrungsmitteln vegetabilischer Herkunft, im einzelnen sei auf diese Zeitschrift 1916 S. 85 verwien.

Was die Ausnutzung hier anlangt, so zeigt sich folgendes:

Kurgas. Weißbrot.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung				Brot	Zucker	Fett	Harn		Kot		
			Brot	Kaffee (2 Liter)	Zucker	Butter	frisch berechnet				N	Zeit	frisch	trocken
		kg	g	g	g	g	g	g	g	ccm	g		g	g
26. VI.										1740	10·9			
27. „	1.	59·0	1030	30	50	—	1030	50		1920	8·5	—	—	—
28. „	2.		1125	30	50	—	1132	50		1820	7·6	10h v.	120	30
29. „	3.		1035	30	30	—	1045	50		1040	8·7	10 „	120	30
30. „	4.		940	30	50	30	951	50	30	880	9·5	9 „	130	30
1.VII.	5.		850	30	50	30	874	50	30	1240	9·0	9 „	130	20
2. „	6.	58·0	880	30	50	—	918	50		1090	6·2	9 „	120	20
3. „			Gemischte Kost				5950			2260	10·9	8 „	125	25
						pro Tag g	975							155
						lufttrocken = g	654·2							

In 100 Teilen feinstem Weizenbrot:		in 554·2 g p. Tg.
Asche	2·30	15·0
Organisch	97·70	639·2
N	1·83	11·97
Pentosan	4·52	29·57
Zellmembran	1·26	8·23
Stärke[1]	74·80	490·0
Kalorien	423·8	2772·4

N-Zufuhr 12·32
im Kot 1·33
sollten 10·99 im Harn sein.
Ausscheidung 8·25
angesetzt 2·74

Zufuhr im ganzen 3251
ab 200
bleibt als Umsatz = Reinkalorien 3051 = 51·7 Kal. pro 1 Kilo.

Von der Zufuhr gehen ab im Harn 66·2 Kal.
2·74 × 5·88 Kal. als Ansatz 16·1 „
im Kot 117·4 „
Se. 199·7 Kal.

[1] Direkt bestimmt.

In 100 Teilen Kot sind:		in 23·1 g Kot p. Tg.
Asche	9·68	2·23
Organisch	90·32	20·87
N	5·76	1·33
Pentosan	7·29	1·68
Zellmembran	21·78	5·03
Stärke	7·45[1]	1·72
Fett	7·50	1·73
Kalorien	508·0	117·4

Die Menge des Verlustes an organischer Substanz war 3·26 Prozent, die der Kalorien = 4·23 Prozent, dies deckt sich zwar nicht mit der Ausnützung bei Kohlrausch[2], wobei nur 3·70 Prozent der Kalorien verloren werden, aber doch sehr nahe. Der N-Verlust betrug im ganzen 10·89 Prozent, dies war mehr als in analogen Versuchen bei Kohlrausch und Thomas. Es dürfte sich dieser Unterschied dadurch erklären, daß die Zellmembran zum Teil aus wirklicher Kleie bestand, was sich auch aus der relativ geringen Resorbierbarkeit mit 60·4 Prozent Verlust ergibt, während reine Zellmembran des Mehlkernes nach meinen Versuchen nur 24·6 Prozent Verlust liefert. In der Zellmembran im Kot war 0·855 g N Protein vorhanden, pro Tag traf also an Stoffwechsel-N 0·48 g, der Eiweißverlust selbst war 7·1 Prozent, was auch auf die Anwesenheit von Kleberzellen hinweist, da sonst nur rund 6 Prozent N bei feinem Mehl überhaupt verloren werden.

Gesamt-N-Verlust verhält sich zum N-Verlust durch Stoffwechselprodukte wie 100 : 36·09, eine Zahl, die für Person K. wesentlich kleiner ist, als die bei den Versuchen mit Strohbrot. Von der Zufuhr des N treffen also rund 4 Prozent auf Verlust durch Stoffwechselprodukte, im allgemeinen ein niedriger Wert. In der Reihe mit Strohbrot trafen 13·42 Prozent der Zufuhr bei K. auf N-haltige Stoffwechselprodukte, man kann daher schon hieraus entnehmen, daß die Beigabe des Strohmehles nicht ohne Einfluß auf den Ablauf des Verdauungsprozesses war.

Über die Gesamtmenge aller Stoffwechselprodukte gibt nachstehende Tabelle Aufschluß (siehe Tabelle nächste Seite):

Die Gesamtmenge beträgt also bei feinstem Weizenbrot nur 2·04 Proz. aller Kalorien der Nahrungsaufnahme.

Es läßt sich jetzt leicht die Frage beantworten, ob die Hinzufügung von aufgeschlossenem Stroh als ein Anreiz zur Mehrung der Stoffwechsel-

---

[1] Direkt bestimmt.

[2] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 85.

Person	Verlust an Kalorien im Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kal. im Kot aus Stoffwechselprod.	Verzehrte Kalorien im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprod.	Von 100 Kalorien treffen auf Stoffwechselprod.
	Stärke	Zellmembran[1]	Pentosan[2]	Summe					
Kurgas	7·05	53·51	0	60·56	117·40	56·8	2772·0	2·04%	48·38%

produkte zu betrachten ist, d. h. ob dieses Material eine Mehrtätigkeit des Darmes erfordert und weiter wird ein Vergleich mit einem Brot aus Weizenmehl, das annähernd eine ähnliche Menge von Kleiezellmembran enthielt (5·09 Prozent), als das Strohbrot mit aufgeschlossenem Stroh (7·99 Prozent) von Interesse sein.

Auf 100 Kalorien Zufuhr treffen Stoffwechselprodukte:

bei feinstem Weizenbrot . . . . 2·04
,, Strohbrot . . . . 4·12
,, Weizenbrot (80 Prozent Ausmahlung)[3] . . 7·30

Strohbrot steigert tatsächlich den Verlust an Stoffwechselprodukten von 2,04 auf 4·14 Prozent der Gesamtzufuhr an Kalorien, kleiehaltiges Brot zeigt allerdings eine weit erheblichere Steigerung, ein Hinweis, daß nicht das ,,Unlösliche" an sich ausschließlich eine Steigerung der Darmtätigkeit bedeutet, sondern die Eigenart der Nahrungsmittel, wie ich schon oben bemerkte. Damit mögen die Betrachtungen dieser Versuchsreihe geschlossen sein.

Welche Ergebnisse zeigen sich bei einem Vergleich der beiden Brotsorten des reinen Weizenbrotes und des mit Strohmehl versetzten?

Das Brot aus aufgeschlossenem Stroh sollte aus neun Teilen Trockensubstanz Weizenmehl und einem Teil aufgeschlossenem Stroh bestehen. Geht man von den Werten der Zellmembran des Brotes mit Strohzellulose aus, so findet man eine Mischung von 91 g trockenem Mehl und neun Teilen trocknen aufgeschlossenen Strohes, mit dieser Zahl ist in nachfolgendem gerechnet worden; bei dem Versuche von K. mit 570·3 g täglich aufgenommenem Brot mit aufgeschlossenem Stroh wären nach diesem Verhältnis also 519 g feines Weizenmehl vorhanden.

Die Ausnützungsverluste des letzteren werden nun von den Versuchsergebnissen mit Strohmehl abzuziehen sein.

---

[1] 5·03 reine Zellmembran = 22·12 Kal., dazu 5·34 Protein = 31·39 Kal.

[2] Pentosan nur in der Zellmembran.

[3] Siehe *dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 89.

	Asche g	Organ. g	N g	Stärke g	Zellmembran g	Stoffwechselprod. g	Kal.
In den Ausscheidungen bei Strohbrot täglich	5·26	58·44	1·97	3·23	41·97	137·18	335·1
519 g Mehl liefern . .	1·77	16·95	1·03	1·36	4·18	44·83	93·0
Also mehr im Tag . .	3·49	41·49	0·94	1·87	37·79	92·35	242·1

Die Zufügung von Zellmembran, welche aus dem feinen Mehl gewissermaßen ein Vollkornmehl gemacht hat, hat eine allgemeine Vermehrung der Ausscheidungen hervorgerufen, die sich auf Zunahme der Asche, der organischen Substanz, des N, der Stärke, der Zellmembran und der Kalorien erstreckt.

Im Strohbrot der Zufuhr waren p. Tag 45·56 g Zellmembran überhaupt
ab für Weizenmehl . . . . 6·53 g
bleibt mehr bei Strohbrot: 39·03 g

diese Zellmenbranen müssen auf aufgeschlossenes Stroh überhaupt umgerechnet werden; sie entsprechen (à 4·16 Kal.) = 209·2 Kalorien im ganzen pro Tag. Diese 209·2 Kalorien hatten aber keinen Nutzeffekt, weil pro Tag 242·1 Kalorien aus Anlaß der Zugabe von aufgeschlossenem Stroh mehr in den Ausscheidungen kamen. Das Stroh bringt an sich keinen N als Nahrung mit sich, erzeugte aber eine Mehrausscheidung von N im Betrage von 0·94 g pro Tag, die teils als Stoffwechselprodukte, teils als Proteinverlust aufzufassen ist. Außerdem kamen (242·1 – 209·23) 32·9 Kalorien als Mehrverlust überhaupt.

Da außerdem aber doch von der Zellmembran wirklich kleine Anteile, wie nachgewiesen, und außerdem auch noch die wasserlöslichen Stoffe des aufgeschlossenen Strohes zur Resorption gelangt sind, so muß dieser Resorption entsprechend eine Mehrausscheidung von anderen Stoffen stattgefunden haben, die hier nur rechnerisch verdeckt sind. Die obige Zusammenstellung ergibt auch hierfür die Antwort; der Resorption der in Wasser löslichen Stoffe, dem aufgeschlossenen Stroh steht andererseits die Mehrung der Stoffwechselprodukte gegenüber.

Zusammenfassend kann man also folgendes über die Wirkung aufgeschlossenen Strohes in der Nahrung des Menschen sagen. Der Zusatz von aufgeschlossenem Stroh vermindert die Qualität des Brotes gegenüber dem reinen Brot aus gleichem Mehl, Wohlgeruch und Wohlgeschmack des ursprünglichen Gebäckes nehmen ab. Das Brot trocknet rasch aus und wird dann sehr zäh. Die Auflösung durch den Speichel scheint herab-

gesetzt, das Brot nimmt einen stärkeren Wassergehalt an. Im Darm steigert sich die Entwicklung von Gasen, die Ausscheidungen werden sehr stark vermehrt, der Kot ist wasserarm, doch verfilzen die Strohfasern nicht.

Die Zellmembranen des aufgeschlossenen Strohes werden im Darm des Menschen wenig angegriffen, weniger wie Kleie und Spelzmehl. Die aus der Zerlegung und Verdauung der Zellmembran selbst frei werdenden Nahrungswerte betragen auch bei ausschließlicher Brotkost weniger als 0·5 bis 1·0 Prozent des gesamten Brennwertes der Kost.

Bei einem Vergleich mit Brot aus reinem Mehl derselben Herkunft liefert das Strohbrot einen Mehrverlust an allen wichtigen Bestandteilen, der durch den gesamten Brennwert des zugesetzten Strohes nicht gedeckt wird, vielmehr erhöht sich unter dem Einfluß des letzteren die tägliche N-Ausscheidung und der Verlust an Kalorien. Demnach ist von einer Sparung an Nährstoff nicht die Rede, sondern es steigt der Verlust im ganzen an. Es empfiehlt sich daher, von derartigen Zusätzen zu Brot abzusehen, da durch sie nicht nur kein Nutzen, sondern eine meßbare Benachteiligung der sonstigen Nährstoffverwertung die Folge ist.

Die bei gesunden Männern angestellten Versuche erlauben keine Übertragung der Resultate auf die ganze Bevölkerung und etwa auch auf Leute mit schwächerem Magen, alte Personen usw., eine allgemeine Verwendung von Strohbrot kann sicher nicht darauf rechnen, günstigere Ergebnisse wie hier zu erzielen. Auch wenn man statt feinen Weizenmehls kleiereiche Mehle hochgradiger Ausmahlung verwendet, können die Ergebnisse nicht günstiger, sondern nur schlechter werden.

Altes und Neues über das Elektrokardiogramm.

Von

Professor **Augustus D. Waller.**

Beim Lesen der Schriften, die in den letzten Jahren in Pflügers Archiv und in anderen Zeitschriften über das Elektrokardiogramm erschienen sind[1], die die Entdeckung der Herzströme, die Grundbedingungen für deren graphische Aufnahme und ihre klinische Bedeutung behandeln, hat sich mir die Überzeugung aufgedrängt, daß es von Nutzen sein könnte, wenn ich dem deutschen Leserkreis einen kurzen Abriß meiner eigenen Anschauungen über diesen Gegenstand vorlegte. Der gegebene Ort für diese Mitteilung ist das Archiv, das fast 40 Jahre lang (1858 bis 1895) von du Bois-Reymond herausgegeben worden ist. Ist es mir doch seinerzeit durch das gütige Entgegenkommen dieses Altmeisters und unermüdlichen Forschers auf dem Gebiete der tierischen Elektrizität vergönnt gewesen, der Berliner Physiologischen Gesellschaft die grundlegenden Versuche über die elektromotorische Tätigkeit des Herzens vorzuführen, die dann in den Verhandlungen der Gesellschaft beschrieben worden sind. Mein Besuch in Berlin im Jahre 1889 ist mir in Erinnerung, als ob es gestern gewesen wäre. Mit welch lebhafter Aufmerksamkeit beobachtete du Bois-Reymond die Stromstöße seines eigenen Herzens und prüfte durch den Vergleich zwischen „wirksamen" und „unwirksamen" Anordnungen die Bedeutung der schrägen Lage der Achse *CC* und des

---

[1] W. Einthoven, G. Fahr und A. de Waart. Über die Richtung und die manifeste Größe der Potentialschwankungen im menschlichen Herzen und über den Einfluß der Herzlage auf die Form des Elektrokardiogramms. *Pflügers Archiv.* 1913. S. 275. — A. Samojloff, Vorzüge der mehrfachen Ableitung der Herzströme bei Elektrokardiogrammaufnahmen. *Ebenda.* 1913. S. 195. — F. Kraus, G. F. Nicolai und F. Meyer, Prinzipielles und Experimentelles über das Elektrokardiogramm. *Ebenda.* 1913. Bd. CLV. S. 97. — R. H. Kahn, Das Elektrokardiogramm. *Ergebnisse der Physiologie.* 1914. B. XIV. — A. Hoffmann, *Die Elektrographie als Untersuchungsmethode des Herzens und ihre Ergebnisse.*

Äquators *OO* der Spannungslinien, und wie sorglich war er darum bemüht, daß mein ,,großer gelber Hund" und mein ,,mittelgroßer brauner Hund" ihr Kunststück, mit den Pfoten in Zuleitungsgefäßen stillzustehen, recht gut machen sollten, als ich auf seinen Wunsch unternahm, die Versuche in der Physiologischen Gesellschaft zu zeigen und den Beweis zu liefern, daß die Achse der Spannungsfigur beim Menschen eine andere Lage hat als beim Vierfüßer, dessen Herz weniger schräg steht. ,,Von diesen Strömen," sagte du Bois-Reymond, ,,wird niemand behaupten können, daß es ,Demarkationsströme' sind."

Obgleich zu dieser ersten Untersuchung nur ein verhältnismäßig unempfindliches Instrument angewendet werden konnte, nämlich das Lippmannsche Kapillarelektrometer, traten doch schon alle wesentlichen Züge des Phänomens hervor. Der grundlegende Unterschied zwischen ,,schwachen und starken" oder ,,wirksamen und unwirksamen" Ableitungen wurde nachgewiesen und seine Bedeutung klar gemacht, indem bei Individuen mit Situs inversus der entgegengesetzte Befund erhoben wurde. Es handelte sich dabei nicht um theoretische Klügelei oder Auskramen belangloser Einzelfälle, sondern um die Feststellung einer Tatsache, die mit wohlüberlegter Absicht als Korollar zu einer sorgsam durchdachten Kette von Schlüssen aufgesucht worden war.

Sechs Jahre später nahm Einthoven mit Hilfe des viel feineren Apparates, den er eigens zu diesem Zwecke erfunden hatte, das Gebiet von neuem in Angriff. Indem er die wahre Stromkurve für bestimmte Ableitungen angab, wies er der Forschung den Weg, von der Untersuchung des normalen Herzens zu der der pathologisch veränderten Herztätigkeit fortzuschreiten. Ein weiterer großer Fortschritt wurde erreicht, als fast gleichzeitig Stanley Kent in England und His (der Sohn) in Deutschland das nach His benannte Muskelbündel im Herzen entdeckten.[1] Doch das sind allbekannte Dinge.

Trotz dieser großen Fortschritte aber glaube ich durch das, was ich im folgenden von ,,Altem und Neuem" aus diesem jetzt schon so weit angebauten Gebiet berichten will, zeigen zu können, daß die neueren pathologischen Untersuchungen auf Abwege geraten sind, weil man den Unterschied zwischen wirksamer und unwirksamer Anordnung nicht hinlänglich beachtet, und weil Einthoven schon bei seinem ersten Auftreten meiner vollkommen richtigen Angabe widersprochen hat, daß die Ableitung von der linken Hand eine ,,unwirksame" ist und sie daraufhin leider auch als dritte unter seine klassisch gewordenen drei

---

[1] Kent, *Journ. of Physiol. Proc. Physiol. Soc.* 12. Nov. 1892. Vol. XIV. p. 23. — His, *Arbeiten aus der Medizinischen Klinik zu Leipzig.* 1893.

Ableitungen I, II und III aufgenommen hat. Allerdings muß ich zugestehen, daß ich selbst in gewissem Grade daran mitschuldig bin, daß jetzt so viele durch die falschen Wegweiser *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, *U* nebst den drei Ableitungen I, II und III vom rechten Wege abgebracht werden. Ich betrachtete nämlich die ganze Sache schon im Jahre 1890 als abgeschlossen und habe daher auch mehr als 20 Jahre lang nichts darüber veröffentlicht, abgesehen von meinen Vorlesungen, in denen ich Jahr für Jahr dies Kapitel mit immer einfacher werdenden schematischen Darstellungen auf der Tafel behandelte. Ich habe mir eben du Bois-Reymond nicht nur auf dem Gebiete der tierischen Elektrizität, sondern auch in bezug auf das Druckenlassen zum Muster genommen, und das „nonum prematur in annum", das für ihn vierfach galt, ist in meinem Falle kaum mehr als zweifach.

Inzwischen hatte ich für die im Archiv von 1890 auf S. 187 abgedruckte Spannungsfigur eine einfachere Form gefunden, indem ich die Linien, die Orte gleichen Potentials bezeichnen sollten, durch ein System von Äquidistanten zum Äquator ersetzte, deren Abstand gleiche Bruchteile von 1 Volt bedeutete, und auf denen ich an der Tafel die Zeichen *M. R. L.* ankreidete, um die Potentialspannungen und Potentialdifferenzen bei den Ableitungen von Mund und Rechter Hand und Mund und Linker Hand zu bezeichnen. Dadurch tritt anschaulich hervor, daß die Potentialspannung bei der rechten oberen (unwirksamen) Ableitung und der linken oberen (wirksamen) Ableitung verschieden ist, und daß die Größe des Unterschiedes davon abhängt, ob das Herz steiler oder flacher nach links geneigt ist. Ebenso machte ich es für die linke oder rechte untere Ableitung, da ja die beiden Füße in bezug auf die Herzströme als isoelektrisch angesehen werden können. Es versteht sich von selbst, daß ich in der Vorlesung auch die drei Zacken des typischen Elektrokardiogrammes besprach, von denen ich eine als Vorhofzacke, die beiden anderen als erste und zweite Ventrikelzacke unterschied. Ferner hatte ich, bloß der bequemeren Bezeichnung wegen, die verschiedenen Ableitungen als transversale, axiale, äquatoriale, rechte und linke, obere und untere benannt. Da ich aber in diesem Ausbau der Lehre keine neuen Entdeckungen sah, fühlte ich keine Veranlassung, besondere Mitteilungen darüber zu veröffentlichen. Jetzt aber, da ich sehe wie die Klinik es als ein Dogma hinstellt, daß die Hypertrophie des linken Herzens sich im Elektrokardiogramm durch Vergrößerung von R_I (also kleines R_{II}) und Verkleinerung von R_{III} ausspricht, während die Hypertrophie des rechten Herzens sich durch kleines R_I (großes R_{II}) und großes R_{III} anzeigt und daß dies Dogma allgemein als eine bloße Erfahrungstatsache ohne jede

theoretische Begründung aufgestellt wird, jetzt, dünkt es mir, tut es not, daß man einmal wieder auf den Anfang dieser jetzt ja schon recht alten Geschichte zurückgeht, um sie noch einmal von vorn an zu erzählen, aber diesmal vom Standpunkte der Unterscheidung von Rechts und Links! Ich bin fest überzeugt, daß der Leser, der sich an diese Betrachtungsweise gewöhnt und sich die einfache Berechnungsweise zu eigen macht, nach der sich die Spannungshöhe für rechte und linke Ableitung bemißt, bald verstehen wird, woher es kommt, daß man Leitungsstörungen im rechten Schenkel des His'schen Bündels als die klassische Form der Herzstörung betrachtet, seitdem man ausschließlich mit den drei Ableitungen I, II, III arbeitet. Genau dieselben elektrischen Symptome müssen nämlich nach meiner Auffassung häufig bei ganz normalen Herzen vorhanden sein. Auf diese Dinge soll weiter unten ausführlicher eingegangen werden.

Was die Bezeichnungen betrifft, so freut es mich, mit Kraus und Nicolai darin durchaus übereinzustimmen, daß, wie sie auf S. 215 erklären: die geschichtliche Entwicklung, die Beobachtungen und die Einfachheit ebensoviel Gründe sind, nur drei Zacken im Elektrokardiogramm des Menschen anzuerkennen. Ich selbst habe mich seit nunmehr über 20 Jahren im Unterricht immer nur dieser Bezeichnungsweise bedient, nur daß ich dabei nicht gerade die von Kraus und Nicolai vorgeschlagenen Buchstaben benutzte, weil ich zufällig eine andere Sprache rede. Ich unterschied eine Vorhofszacke A, eine erste Ventrikelzacke V_I und eine zweite Ventrikelzacke V_{II}. Ich gebrauchte die Wörter ,,erste" und ,,zweite", weil diese Zacken mit dem ersten und zweiten Herzton zeitlich zusammenfallen oder ihnen nur um sehr wenig vorausgehen. In den Vorlesungen nenne ich häufig V_{II} auch die ,,systolische" Zacke. Die neuere (oder wie Kraus und Nicolai sie nennen, die ältere) Nomenklatur $P\,Q\,R\,S\,T$, die Einthoven 1895 zur Beschreibung seiner Kurven eingeführt hat[1], halte ich für unbequem und obendrein irreführend, obschon sie von vielen Klinikern angenommen worden ist. Gegen die Bezeichnung $A\,J\,F$, die den Vorteil bietet, für die deutsche, französische und englische Sprache gleich gut zu passen, habe ich nichts einzuwenden, aber ich gebe doch der Bezeichnung V_I und V_{II} (oder bloß I und II) für die erste und zweite Ventrikelzacke den Vorzug, vielleicht hauptsächlich deswegen, weil ich eben daran gewöhnt bin, aber auch weil ich finde, daß es gut zu der althergebrachten Bezeichnung der Herztöne als erster und zweiter paßt.

Was die Benennung der Ableitungen betrifft, so ist natürlich kein

[1] Pflügers *Archiv*. 1885. Bd. LX. S. 105.

Anlaß vorhanden besondere Namen einzuführen, wenn man sich wie Kraus und Nicolai es tun, mit bewußter Absicht auf die einzige Ableitung von den Händen aus beschränkt. Ich bin aber in diesem Punkte derselben Ansicht wie Samojloff, nämlich daß man mit Hilfe von drei Ableitungen Aufschlüsse erlangen kann, die eine Ableitung nicht gibt. Ja, ich meine sogar daß es sich verlohnt, die Kurve mit fünf verschiedenen Ableitungen aufzunehmen.

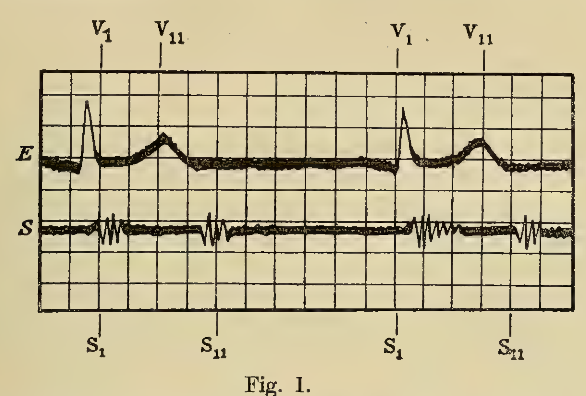


Fig. 1.

Gleichzeitige Aufnahme des Elektrokardiogramms und der Herztöne von L. Bull. *E* elektrokardiographische Kurve. *S* mikrophonische Kurve der Herztöne. V_I und V_{II} erste und zweite Ventrikelzacke, gehen dem ersten und zweiten Herzton, die durch die Stromschwankungen bei S_I und S_{II} angezeigt werden, um einen kurzen Zeitraum voraus. Die Abszissen sind Fünftelsekunden.

1887 bis 1889, bei meinen ersten Untersuchungen, hatte ich es für zweckmäßig gehalten, zunächst so viele verschiedene Ableitungen wie nur möglich in Betracht zu ziehen, und habe daher sogar die Ergebnisse von zehn verschiedenen Ableitungen mitgeteilt, also keineswegs, wie Kraus und Nicolai irrtümlicherweise angeben, bloß die der Anordnung „Mund und linker Fuß". Tatsächlich war sogar die erste Ableitung, die ich untersuchte, die von rechter Hand und linkem Fuß, das heißt also die axiale Ableitung von *B* und *A*. Als ich dann fand, daß Mund und rechte Hand eine „unwirksame Anordnung" bilden, das heißt nahezu isoelektrisch sind, nahm ich die Elektrode, die von *B* abgeleitet hatte, in den Mund, um die rechte Hand zum Gebrauch frei zu haben.[1]

[1] Übrigens auch, weil sich diese Ableitung als die günstigste erwies. Ich habe die Ableitung vom Mund zum After nur einmal probiert, und als ich mich überzeugt hatte, daß sie der vom Mund zu den Füßen entspreche, behielt ich sie den Versuchen an Katzen, Hunden und Kaninchen vor. Sie gibt natürlich eine einfache longitudinale Ableitung und kommt der rechten oberen und unteren oder der linken oberen und unteren gleich.

Die fünf Ableitungen, die ich als maßgebend betrachte, sind:

1. Rechte obere (Mund — rechte Hand).
2. Linke obere (Mund — linke Hand).
3. Transversale (rechte Hand — linke Hand).
4. Linke untere Links-laterale (linke Hand — linker Fuß)
   Äquatoriale (linke Hand — rechter Fuß).
5. Rechte untere Rechts-laterale (rechte Hand — rechter Fuß)
   Axiale (rechte Hand — linker Fuß).

Zu diesen kann noch eine sechste Ableitung hinzugefügt werden:

6. Longitudinale (Mund — rechter oder linker Fuß).

Diese fünf Ableitungen muß man sämtlich anwenden, wenn man sich ein Bild von der Verteilung der Ströme rings um das arbeitende Herz machen will. Es ist nach meiner Auffassung für die Untersuchung eines klinischen Falles unerläßlich, von allen diesen fünf Ableitungen Kurven aufzunehmen, weil es oft sehr nützlich ist, diejenigen Größen bestimmt zu haben, aus denen sich die Neigung der Potentialachse, kopfwärts oder fußwärts vom Herzen aus, nach folgenden einfachen Formeln berechnet:

Obere Halbaxe: $\text{tang}\,\alpha = \frac{L - R}{L + R}$. Untere Halbaxe: $\text{tang}\,\alpha = 2\,\frac{R - L}{R + L}$.

Ich hatte den Vergleich angestellt zwischen den einander entgegengesetzten Wirkungen auf beiden Seiten, beispielsweise zwischen rechter und linker oberer oder rechter und linker unterer Ableitung. (Da ich finde, daß die beiden Füße sich, was die Herzströme betrifft, so gut wie gleich verhalten, betrachte ich sie als isoelektrisch. Zwischen links-lateraler und äquatorialer, wie zwischen rechts-lateraler und axialer Ableitung ist also praktisch kein Unterschied.) In den Jahren 1887 bis 1889 stellte ich fest, daß die linke obere und die rechte untere Ableitung „wirksam", die rechte obere und die linke untere „unwirksam" sind, und ich brachte diesen normalerweise stets vorhandenen Unterschied mit der normalen Schräglage der Symmetrieachse des Herzens in Zusammenhang. In dem Schema, in dem ich diese Ergebnisse zusammenfaßte, nahm ich die Neigung des Herzens zu 45° an und erklärte, daß die Ableitung von zwei Punkten, die auf entgegengesetzten Seiten des „Äquators" gelegen seien, wirksam, die Ableitung von zwei Punkten auf derselben Seite des Äquators dagegen unwirksam sei. Man hat später behauptet, ich hätte darin unrecht gehabt. Insbesondere hat Einthoven, der durch sein herrliches Saitengalvanometer erst erreicht hat, daß es möglich wurde, den Verlauf der Herzströme getreu abzubilden, geäußert, ich hätte damit einen Fehler gemacht, daß ich die links-laterale Ableitung als unwirksam

bezeichnet hätte[1], und hat dann diese Ableitung als die dritte seiner drei Hauptableitungen I, II, III angenommen. Ich erkenne aber auch heute (1914) noch nicht an, daß das ein Fehler war, und bleibe auch heute (1914), wo ich das Gebiet vielleicht noch etwas besser überblicken kann, dabei, daß Ableitungen von Punkten, die auf derselben Seite des Äquators gelegen sind, unwirksam oder nur schwach wirksam sind. Die linkslaterale Ableitung, von der linken Hand und dem linken Fuß, also Einthovens Ableitung II, ist hier einbegriffen.

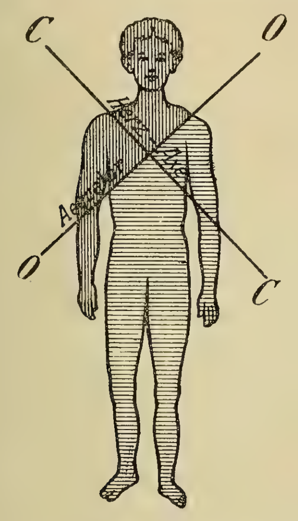


Fig. 2a.
Die Lage der Symmetrieachse der Potentialspannungen CC und des Äquators der Spannungsfigur OO am menschlichen Körper.

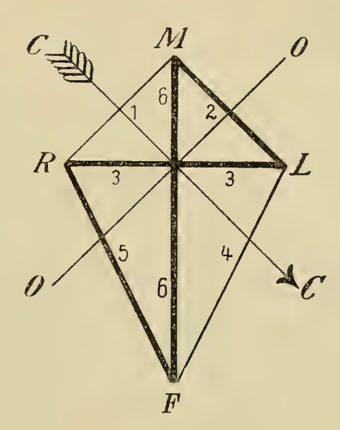


Fig. 2b[2].
Schema der Ableitungen. M Mund; R rechte, L linke Hand; F Füße; OO Äquator; CC Achse der Spannungsfigur.

Um mich dem Sprachgebrauch, wie er durch Einthovens Vorgang festgelegt ist, anzupassen, will ich die Reihenfolge meiner fünf Ableitungen umstellen, so daß die ersten drei mit Einthovens I, II, III übereinstimmen:

I. 1. Transversale.
II. 2. Rechte untere (und axiale).
III. 3. Linke untere (und links-laterale).
4. Rechte obere.
5. Linke obere.

[1] Pflügers *Archiv.* 1908. Bd. CXXII. S. 551.
[2] Die Figur ist so gezeichnet, daß der Winkel bei $M = 80^{0}$, bei $F = 52 \cdot 5^{0}$,

Man findet nun z. B. bei einer Versuchsperson (T. G.), daß der Spannungswert der systolischen Zacke V_I bei den fünf Ableitungen, in Dezimillivolt gerechnet, beträgt:[1]

1.	2.	3.	4.	5.
Tr. = 8	R. u. = 8	L. u. = 3	R. o. = 0	L. o. = 8

Die Potentialdifferenz zwischen Mund und linker Hand ist 8, zwischen Mund und rechter Hand 0. Der Neigungswinkel der Potentialachse gegen die Senkrechte berechnet sich nach der Formel

$$\text{tang}\ \alpha = \frac{8 - 0}{8 + 0} = 1,$$

mithin $\alpha = 45^0$. Ferner ist die Potentialdifferenz zwischen Fuß und linker Hand gleich 3, zwischen Fuß und rechter Hand gleich 9, woraus

$$\text{tang}\ \alpha = 2 \cdot \frac{9 - 3}{9 + 3} = \frac{12}{12} = 1, \quad \alpha = 45^0.$$

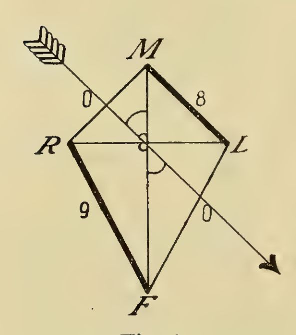


Fig. 3.
Schema der Ableitungen. ML gibt die Spannung 8; RF die Spannung 9; MR und LF geben die Spannung 0. Der Pfeil deutet die Richtung der Potentialachse an.

An dieser Stelle will ich aber nicht etwa diese einfache Berechnung erklären, sondern nur an einem Beispiel zeigen, daß es gleich ist, ob der fundamentale Gegensatz zwischen wirksamen und unwirksamen Ableitungen durch Potentialunterschiede oder durch Stromstärken ausgedrückt wird. In den Jahren 1887 bis 1889 habe ich angegeben, daß Ableitungen von zwei Punkten, die auf entgegengesetzten Seiten des Äquators gelegen sind, „wirksam" sind, Ableitungen von zwei Punkten, die auf derselben Seite des Äquators gelegen sind, „unwirksam". Jetzt sage ich: Ableitungen von zwei Punkten, die auf oder nahe an der Potentialachse gelegen sind, sind wirksam, Ableitungen von zwei Punkten, die in der Richtung quer auf die Potential-

so daß cot $M/2 = 1$ und cot $F/2 = 2$. Über die geometrische Konstruktion vgl. *Proc. Roy. Soc.* B. 1913. Vol. LXXXVI. p. 513.

[1] Die Zahlen dieses Falles (T. G.) sind genau nach der Ablesung hergesetzt. Es kann auffallen, daß sie der Gleichung: Rechte obere Ableitung + rechte untere Ableitung = linke obere Ableitung + linke untere Ableitung nicht genügen. Das mag auf mangelnden Synchronismus oder auf Messungsfehler zurückzuführen sein, Die Zahlen würden der Gleichung genügen, wenn sie lauteten: R. ob. = 1. R. unt. = 10. Dann würde der obere Winkel zu 38^0, der untere zu 47^0 gefunden werden. Der Ausschlag bei longitudinaler Ableitung betrug für diese Versuchsperson 11.

achse gelegen sind, sind unwirksam. Welcher Fassung man den Vorzug gibt, ändert nichts an der Tatsache, daß die linke obere und rechte untere Ableitung stark wirken, die rechte obere und linke untere schwach. Ich habe die Wörter „linke untere" unterstrichen, um so scharf wie möglich hervorzuheben, daß ich die Berechtigung von Einthovens Korrektur meines angeblichen Fehlers nicht anerkenne. Ganz im Gegenteil, ich sehe in dieser angeblichen Korrektur einen Beweis dafür, daß in jener Zeit Einthovens Anschauungen, trotz seines Scharfblickes in physikalischen und mathematischen Dingen und trotz des herrlichen Apparates, den er zur Nachprüfung und Erweiterung meiner Beobachtungen erfunden hatte, dennoch weniger umfassend und weniger zutreffend waren als die, zu denen ich früher mit Hilfe eines viel unempfindlicheren Instrumentes gelangt war, das in meinen Händen nur eine viel schlechtere Darstellung des Elektrokardiogrammes gewährte, als sie nachmals Bayliss und Starling, Einthoven, Kraus und Nicolai, Samojloff und endlich alle späteren Untersucher erhalten haben. In gewisser Beziehung hat es sich glücklich gefügt, daß in der Zeit, als es galt, die Genossen meiner Forschungen von der Grundtatsache des Gegensatzes zwischen „wirksamen" und „unwirksamen" Ableitungen zu überzeugen, das Kapillarelektrometer, dessen ich mich bediente, so unempfindlich war, daß es bei „unwirksamen" Anordnungen mitunter gar nicht ausschlug, so daß überhaupt nur bei „wirksamer" Anordnung die Stromschwankungen sichtbar wurden. Unglücklicherweise aber gaben die photographischen Kurven, die ich damals aufnahm, den Stromverlauf nicht getreu wieder. Kraus und Nicolai sind daher ganz im Recht, wenn sie bemerken (S. 105): „In seinen verschiedenen Arbeiten neigt er bald dazu, die Normalform als diphasisch, bald als triphasisch anzunehmen." Ich bekenne mich schuldig, in den Jahren 1887 bis 1889 in dieser Beziehung schwankend gewesen zu sein. Aber ich möchte doch auch zwei mildernde Umstände anführen: Erstens stand ich damals stark unter dem Einflusse der Lehre von Marchand, von Engelmann und von Burdon Sanderson, nach der die diphasische Schwankung eine Zickzackkurve darstellte, indem ein positiver Ausschlag auf einen negativen folgt oder umgekehrt (wie es Kraus und Nicolai in ihrer Fig. 4a auf S. 121 angeben). Daher konnte ich mir den doppelten positiven Ausschlag nicht recht erklären, als ich ihn zuerst in ganz derselben Form erkannte und beschrieb, die Kraus und Nicolai in ihrer Fig. 4b veranschaulichen. Zweitens fand ich später bei vielen Versuchspersonen, unter anderen auch bei mir selbst, die erste Ventrikelzacke V_I bei der linkslateralen Ableitung negativ und nur bei tiefer Inspiration positiv, während bei anderen die

Ausatmung bei linkslateraler Ableitung vorübergehend einen Umschlag von positiv zu negativ hervorrufen kann.

Da diese beiden Tatsachen, soweit mir bekannt, bisher von keinem anderen Untersucher angegeben worden sind, will ich sie hier durch Kurven belegen, obwohl dies eigentlich nicht zur Sache gehört. Diese Angaben mögen zugleich als Rechtfertigung für die Wörter „und Neues" in der Überschrift der vorliegenden Abhandlung angenommen werden.

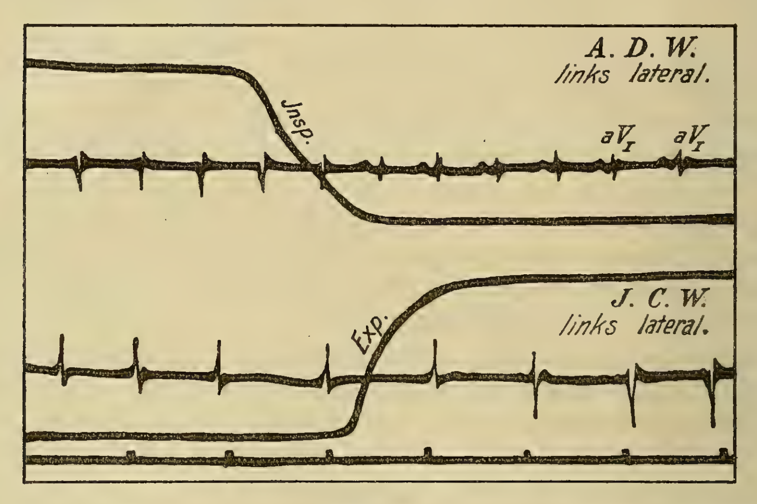


Fig. 4.
Oben das Elektrokardiogramm und die Atemkurve von A. D. W.
Bei Inspiration wird die negative Ventrikelzacke positiv.
Unten das Elektrokardiogramm und die Atemkurve von J. C. W.
Bei Exspiration wird die positive Ventrikelzacke negativ.
Beide bei linkslateraler Ableitung aufgenommen.

Unter diesen Umständen bin ich also längere Zeit hindurch im Zweifel darüber geblieben, welche Richtung dem Doppelschlage $V_I\ V_{II}$ zukäme, den ich damals, je nachdem der Meniskus im Gesichtsfelde auf- oder abstieg, mit NN oder SS zu bezeichnen pflegte und von dem ich durch gleichzeitige Aufnahme des Spitzenstoßes festgestellt hatte, daß er vom Ventrikel herrühre. 1888 hielt ich NN oder SS für die normale Form, aber mitunter beobachtete und verzeichnete ich auch sN und nS und nahm daher auf Grund der damals herrschenden Lehre von der diphasischen Schwankung des Herzstromes eine Zeitlang an, daß dies die normale Form sei. Aber diese Ansicht berichtigte ich bald wieder, teils infolge eigener Beobachtungen und Überlegungen, teils infolge der von

Bayliss und Starling[1] mitgeteilten Kurven. Ich kam nun zu dem Schluß, daß die normale Form NN (oder SS) sei und daß dies die Bedeutung haben müsse, daß die Herzbasis tatsächlich zweimal negativ werde, so daß die Zusammenziehung der Reihenfolge BAB entspreche. Die Sache schien mir aber damals nicht so wichtig, daß ich sie einer besonderen Mitteilung für wert gehalten hätte. Ich erwähnte sie also nur in meinen Vorlesungen und in einer kurzen Bemerkung auf S. 389 der ersten Auflage (1891) meines Lehrbuches ,,An introduction to Human Physiology", in der ich angab, daß die Zusammenziehung des Herzens nicht einfach nach der Reihenfolge BA, auch nicht nach der entgegengesetzten, AB, sondern nach der Reihenfolge BAB (Basis, Apax, Basis) verläuft.

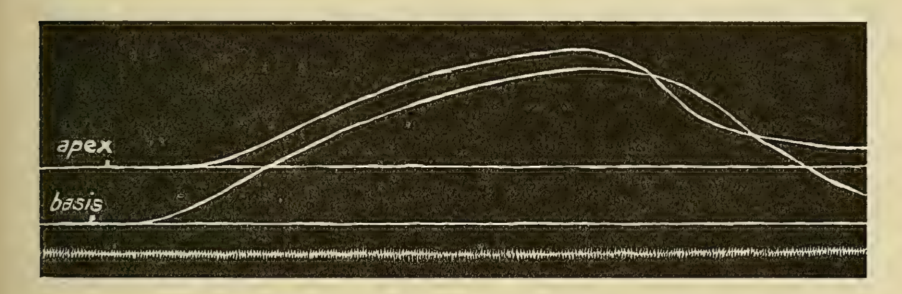


Fig. 5.
Kontraktionswelle des spontan schlagenden Froschherzens, mit zwei Kardiographen gleichzeitig an der Spitze und an der Basis aufgenommen.
Oben: Kurve von der Herzspitze. — Unten: Kurve von der Herzbasis. Die Kontraktion beginnt an der Basis früher als an der Spitze und hält länger an.
(Kurve 15 aus: Waller und Reid, The action of the excised mammalien heart. *Philos. Transact. Roy. Soc.* 1887. B. Vol. CLXXVIII. p. 215.

Ich möchte nochmals betonen, daß die Wandlung meiner Auffassung der normalen Kurvenform, von sN zu NN, nicht erst durch die Befunde von Bayliss und Starling vom Jahre 1892 herbeigeführt wurde, sondern schon früher durch meine eigenen unveröffentlichten Untersuchungen mit besseren Kapillaren und durch Erwägungen, die an die Kurve 15 auf S. 228 einer meiner früheren Arbeiten anknüpften, an der deutlich zu ersehen ist, daß die normale Kontraktion des Ventrikels beim Frosch an der Basis beginnt und auch an der Basis endet.[2] Ich erinnere mich noch genau,

[1] *Monthly International Journal of Anatomy and Physiology.* 1892. S. 256.

[2] Waller und Reid, Action of the excised mammalian heart. *Phil. Transact. Roy. Soc.* B. 1887. Vol. CLXXVIII. p. 215—256.

bald nach dem Erscheinen jener Abhandlung diesen Punkt Herrn Prof. Starling gegenüber erwähnt und ihm gesagt zu haben, daß ich als normale Form der Schwankung *BB* ansehe, das heißt, daß die Basis zweimal negativ werde, weil die Kontraktion, die an der Basis beginnt, auch am längsten von der Basis ausgeht. Bayliss und Starling erlielten, mit dem noch besseren Kapillarelektrometer von Burch, vortreffliche Kurven dieser Art, wie Kraus und Nicolai ganz richtig angeben, und wie ich selbst in der ersten Auflage meines Lehrbuches auf S. 389 gebührend anerkannt habe, und zwar noch vor der Veröffentlichung der Arbeit von Bayliss und Starling. Also haben diese Kurven eigentlich nur den von mir schon vorher festgestellten Befund bestätigt, und daher ist auch das Schema, das Kraus und Nicolai auf S. 132 ihres Berichtes bringen, im wesentlichen identisch mit der Figur, durch die ich meinen Zuhörern die zweimalige Negativität der Herzbasis an der Tafel zu veranschaulichen pflegte. Übrigens muß sich diese Erklärung jedem aufdrängen, der den Kurvenverlauf *BB* beobachtet, und sie hat sich tatsächlich auch einer ganzen Reihe unabhängig von einander arbeitender Beobachter außer mir und Bayliss und Starling dargeboten, z. B. erst vor kurzem Mines[1], Samojloff[2] und Boruttau[3]. Trotzdem aber möchte ich auch heute die Sache noch nicht für ganz ausgemacht erklären, obschon ich die angegebene Theorie für die wahrscheinlichste halte.

Ich pflegte mich damals in meinen Vorlesungen auf die erwähnte Kurve zu beziehen, um einleuchtend zu machen, daß man die Stromkurve *BAB* des ausgebildeten Herzens als die der peristaltischen Kontraktion eines einfachen Gefäßschlauches, die vom venösen Teile aus zum arteriellen verläuft, ansehen könne.

Nach alledem muß ich aber zugestehen, daß ich den Verlauf *BAB* der Stromkurve doch noch nicht als endgültig abschließenden Befund gelten lassen kann. Schon in den Jahren 1896 bis 1897 sah ich mich genötigt, von der Annahme abzugehen, daß man den Ventrikel als eine gleichförmige Muskelmasse, etwa wie den Sartorius vom Frosch auffassen dürfe, in der dann die Kontraktionswelle verhältnismäßig langsam von der Basis zur Spitze und wieder von der Spitze zur Basis ablaufen sollte.

Ich bemerkte nämlich schon sehr frühzeitig bei den Untersuchungen, die ich in Gemeinschaft mit Prof. Reid ausführte, daß das erste Zeichen der Kammerkontraktion an der Herzspitze auftreten könne. Dies würde

---

[1] *Journ. of Physiol.* 1913. Vol. XLVI. p. 188.

[2] *Zentralbl. f. Physiol.* Bd. XXVII.

[3] *Dies Archiv.* Physiol. Abtlg. 1913. S. 519.

beweisen, daß es besondere reizleitende Bahnen vom Vorhof zur Herzspitze gebe. Ich stellte sie mir damals als nervöse Bahnen vor, obschon ich, wie Kraus und Nicolai erwähnen, etwas später allerdings die Möglichkeit angedeutet habe, daß die Erregung durch die Musculi papillares vom Vorhof zur Spitze geleitet werden könnte. Auf diese Vermutung legte ich aber keinen Wert und dachte auch gar nicht daran, sie anatomisch zu prüfen. Es lag mir damals nur daran, festgestellt zu wissen, daß überhaupt auf irgendeine Weise, wahrscheinlich auf nervösem Wege, die Vorhöfe in funktioneller Beziehung zum Spitzenteil der Kammer stünden. Man schrieb damals 1887, das heißt es war sechs Jahre, bevor Kent und His entdeckten, daß sich ein System von reizleitenden Muskelfasern von den Vorhöfen aus in alle Teile der Kammermuskulatur hinein ausbreitet. Diese Entdeckung erklärt in sehr vollkommenem Maße, warum sich der gesamte Ventrikel beinahe im gleichen Augenblick zusammenzieht, und daneben auch noch die rätselhafte Erscheinung, daß am selbsttätig schlagenden, ausgeschnittenen Herzen die Zusammenziehung manchmal an der Spitze etwas früher als an der Basis auftritt. Man kann eben jetzt die Herzkammer als eine Art neuromuskuläres Organ betrachten, in dem die vom Vorhof in die Kammer ausstrahlenden Verzweigungen dieselbe Rolle spielen wie sonst nervöse Leitungsbahnen.

Eine Bestätigung für meine Anschauung fand ich nun in dem zeitlichen Verlauf der ersten Ventrikelzacke V_I. Ihre Gipfelzeit, die man als die Leitungszeit der Anfangserregung für die Strecke von der Basis zur Spitze ansehen darf, beträgt etwa 0·02 Sekunden, was bei einer Strecke von 10 cm die Leitungsgeschwindigkeit von 5 m in der Sekunde bedingt, also eine größere Geschwindigkeit, als bei gewöhnlicher Muskelleitung vorkommt.

Ferner findet sich nicht selten, daß die erste Zacke V_I, statt eine einzige schmale Spitze zu bilden, wie sie der diphasischen Schwankung BA entsprechen würde, zweigipfelig ist, was eine triphasische Schwankung BAB anzeigt. Ihr folgt dann eine ganz normale zweite Ventrikelzacke, die das Vorwiegen der Erregung an der Basis andeutet. Es kann auch der ersten Ventrikelzacke, mag sie nun einfach oder zweigipfelig sein, erst eine kleine Erhebung vorausgehen, die Einthoven als die Zacke Q bezeichnet und die einen diphasischen Stromverlauf anzeigt. Endlich kann noch die erste Zacke V_I ganz zersplittert erscheinen, als sei die Saite oder der Spiegel des Galvanometers von einer Anzahl entgegengesetzter Stromstöße hin- und hergerüttelt worden. Ich deute alle diese verschiedenen Formen der Ventrikelzacke im Sinne der neuen anatomischen Lehre von einem verzweigten Reizleitungssystem. Die Kammerkontraktion

ist eben eine koordinierte Tätigkeit vieler einzelner Gruppen von Muskelfasern und die Muskelströme überwiegen nach dieser oder jener Richtung, je nachdem die Muskelfasergruppen vorwiegend an dieser oder jener Stelle tätig werden. Diese Deutung ist im Einklang mit der Theorie von Kraus und Nicolai, die besagt, daß die Anfangszacke von dem Reizleitungssystem und die Endzacke vom Conus arteriosus herrührt. Ich stimme mit ihnen auch darin überein, die Vorstellung zu verwerfen, als könne die Zacke auf bloßer Erregung, unabhängig von mechanischer Zusammenziehung, beruhen oder als könnte sie durch die Zustandsänderung entstehen, die in den dünnen Leitungssträngen vom Vorhof zur Kammer fortschreitet.

Ein weiterer bemerkenswerter Punkt in bezug auf die Reizleitung im ausgeschnittenen Herzen, auf den ich kurz eingehen möchte, wird von Kraus und Nicolai auf S. 105 erwähnt. Reid und ich haben im Jahre 1888 am ausgeschnittenen Säugetierherzen Beobachtungen nach dieser Richtung sowohl mit künstlicher Reizung wie bei spontaner Tätigkeit angestellt. Wir fanden, daß an dem ruhenden überlebenden Herzen die künstliche Reizung eine Zusammenziehung hervorruft, die an der Basis beginnt und zur Spitze fortgeleitet wird, wenn der Reiz die Basis trift, und umgekehrt, von der Spitze zur Basis, wenn der Reiz auf die Spitze einwirkt. Die Leitungsgeschwindigkeit schwankte je nach der Temperatur zwischen 40 und 1200 mm in der Sekunde. Beim spontanen Schlage schien die Zusammenziehung an der Basis und an der Spitze gleichzeitig, oder ein wenig (0·005 Sekunden) früher an der Spitze einzutreten. Dieser auf mechanischem Wege gewonnene Befund wurde durch die elektrische Untersuchung bestätigt. Der spontane Herzschlag beim überlebenden, aber absterbenden Herzen, dessen Vorhof- und Kammertätigkeit schon völlig dissoziiert waren, ergab spontane Kammerkontraktionen, deren Stromkurven zeigten, daß die Tätigkeit normalerweise an der Spitze und nur in seltenen Fällen an der Basis einsetzt. Wir haben z. B. von einem Schafherz 4 Minuten nach der Exzision eine Leitungsgeschwindigkeit von 8 m in der Sekunde angegeben, aber[1] wir sind doch zu dem Schluß gekommen, daß die Herzkammer bei ihrem normalen Schlage sich in ihrer ganzen Ausdehnung nahezu im gleichen Augenblick zusammenzieht, so daß sich die Fortpflanzung einer Erregungswelle nicht nachweisen läßt. Wir mußten also schließen, daß die mit der Erregung verbundene Zustandsänderung in allen Teilen der Kammer gleichzeitig stattfinde, und diese Gleichzeitigkeit bedingte die Annahme nervöser Verbindungen. In diesem

---

[1] A. a. O. S. 239.

Sinne haben wir uns denn auch im Jahre 1886 geäußert. Jetzt (1914) würde ich mich dahin aussprechen, daß die Gleichzeitigkeit auf dem Vorhandensein der neuromuskulären Fasern von Kent und His beruhe.

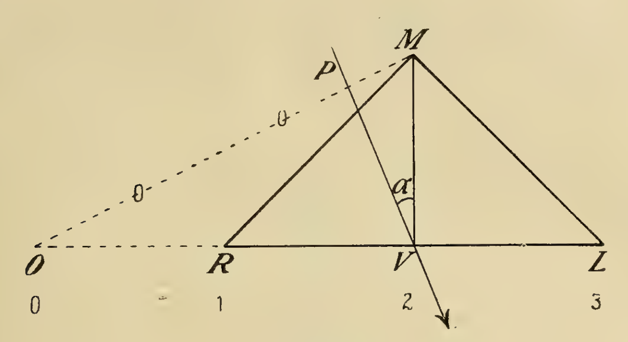


Fig. 6a.
Konstruktion des Neigungswinkels α der Potentialachse an dem Schema der Ableitungen. Das obere Dreieck.

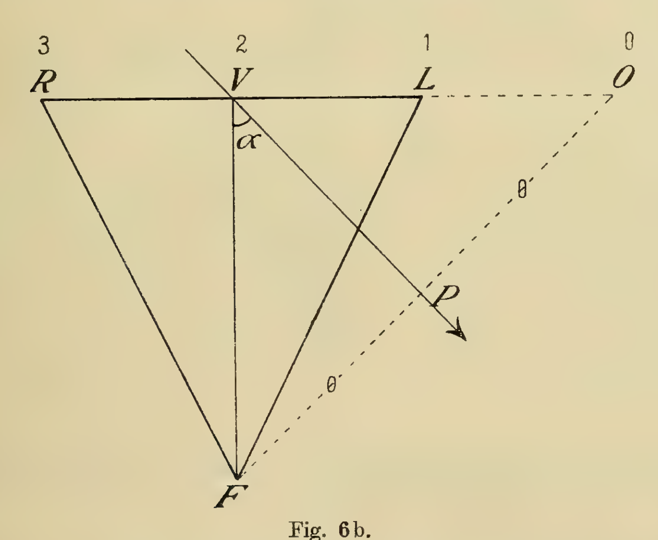


Fig. 6b.
Das untere Dreieck.

In dem Dreieck MRL bedeuten die Seiten MR und ML die rechte und linke obere Ableitung, indem M den Mund, R die rechte und L die linke Hand bezeichnet. In ihrer wirklichen Beziehung zum Herzen stellen die Eckpunkte eigentlich Querschnitte durch Hals und Oberarm vor. Um bequemer zu rechnen, mag der Winkel bei $M = 90^0$ angenommen werden, so daß $MV = {}^1/_2\, RL = RV$. Ist nun z. B. die Zacke von der

rechten Hand = 1 und die Zacke von der linken Hand = 3, so hat man in M das Potential 0, in R das Potential 1, in L das Potential 3. Projiziert man das Potential von M auf die Verlängerung der Horizontalen LR nach O und wählt die Lage des Punktes 0 so, daß die Strecke OR die Potentialdifferenz zwischen M und R, die Strecke OL die Potentialdifferenz zwischen M und L angibt, so stellt MO die Nulllinie der

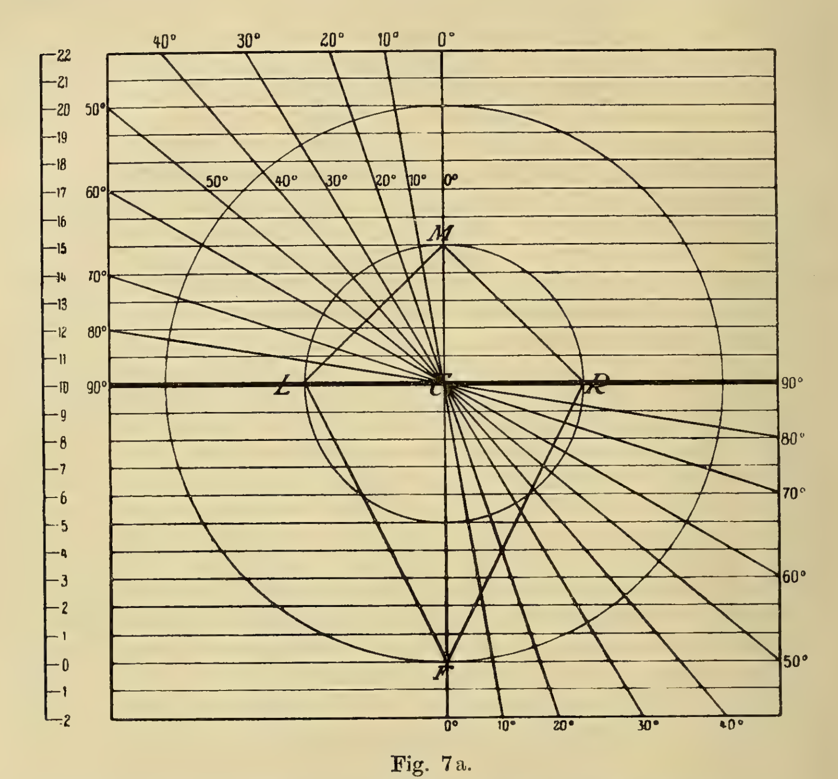


Fig. 7a.

Konstruktion der Spannungswerte für die verschiedenen Neigungswinkel der Potentialachse und die verschiedenen Ableitungen.

Potentialspannung dar. Die Gerade VP, senkrecht auf die Nulllinie MO gezogen, stellt die Lage der Potentialachse dar, die mit der Vertikalen MV einen Winkel bildet, der mit α bezeichnet werden mag.

Da Winkel $MOV = \alpha$, so ist

$$\operatorname{tang} \alpha = \operatorname{tang} MOV = \frac{MV}{OV} = \tfrac{1}{2} = 0 \cdot 5$$

folglich $\alpha = 26^0\,36'$.

Oder wiederum: da $MV = \frac{1}{2}(L - R)$ und $OV = \frac{1}{2}(L + R)$, kann man schreiben:

$$\operatorname{tang} a = \frac{L - R}{L + R},$$

das heißt in Worten: der gesuchte Winkel ist der Winkel, dessen Tangente der Bruch ist, der zum Zähler die Differenz zwischen dem Ausschlage bei wirksamer und dem bei unwirksamer Anordnung, zum Nenner deren Summe hat.

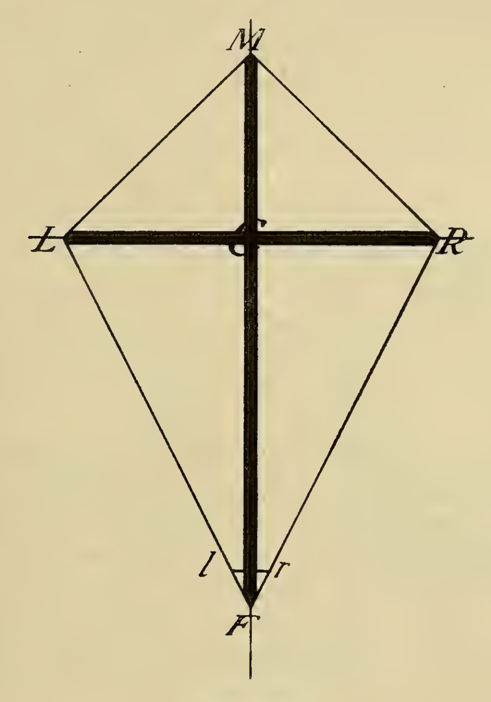


Fig. 7 b.
Das elektrokardiometrische Kreuz. *M* Mund; *L* linke, *R* rechte Hand; *F* Füße; *l* linker, *r* rechter Fuß.

Diese Formel gilt auch für negative Werte der unwirksamen Ableitung, wie sich leicht durch geometrische Konstruktion beweisen läßt. Es wird genügen, ein Beispiel herzusetzen: Es sei der Wert, den man von der unwirksamen Anordnung erhält, $R = -1$, und der für die wirksame Anordnung $L = +3$, so hat man

$$\operatorname{tang} a = \frac{L - R}{L + R} = \frac{3 + 1}{3 - 1} = 2$$

$$a = 64^0.$$

In der Figur, die das untere Dreieck darstellt, ist die Strecke VF der Strecke RL gleich angenommen worden, also doppelt so groß wie RV. Die Formel lautet hier:

$$\operatorname{tang} \alpha = 2 \frac{R - L}{R + L},$$

wo R und L die Ausschläge bei rechtslateraler und linkslateraler Ableitung darstellen. Wie im vorhergehenden Falle ist die Tangente von α gleich dem Quotienten der Differenz $R - L$, dividiert durch die Summe $R + L$, und multipliziert mit FV/RV, der Kotangente des halben Winkels RFL. Für das obere Dreieck wurde $MV/RV = 1$ angenommen, für das untere $FV/RV = 2$, das heißt der Winkel RFL wird gleich 53^0 gesetzt.

Die allgemeine Formel für den Wert des Winkels bei M oder F ist:

$$\operatorname{tang} \alpha = \cot \alpha \frac{R - L}{R + L},$$

worin α die Gradzahl des halben Winkels ist. Wenn wir also mit Einthoven das Dreieck RLF als ein gleichseitiges Dreieck annehmen, ist der Winkel bei $F = 60^0$ und der Wert für $\cot \alpha$ ist $1 \cdot 73$. Die Formel lautet dann:

$$\operatorname{tang} \alpha = 1 \cdot 73 \frac{R - L}{R + L}.$$

Ich bediene mich folgender Darstellung an der Tafel, um in der Vorlesung klar zu machen, wie sich theoretisch der Ausschlag bei unwirksamer und wirksamer Anordnung mit größerer oder geringerer Schräglage des Herzens in der Brusthöhle ändern muß oder, genauer genommen, mit höherem oder niedrigerem Werte des Neigungswinkels α der Potentialachse, wobei natürlich vorausgesetzt wird, was dem wirklichen Tatbestande allerdings nicht genau entspricht, daß der Gipfel des Ausschlages bei allen Ableitungen auf den gleichen Zeitpunkt fällt.[1]

---

[1] Im Jahre 1908 hat Einthoven zuerst den Satz ausgesprochen, der jetzt als „Einthovensche Regel" bekannt ist, nämlich II − I = III (Pflügers *Archiv*. Bd. CXXII. S. 558), das heißt: die algebraische Summe von drei oder mehr beliebigen Potentialdifferenzen innerhalb eines geschlossenen Stromkreises ist gleich Null. Später hat er erkannt, daß die Gleichung nicht zutrifft, weil die Gipfel der Zacken nicht synchron sind, indem der von R_I etwa $0 \cdot 01$ Sekunden früher fällt als der von R_{II} und R_{III}, die er als gleichzeitig gelten läßt. Für solche Punkte der drei Wellen, die im Zeitverhältnis übereinstimmen, ist der Satz selbstverständlich gültig, wie Einthoven dann auch geometrisch gezeigt hat. Ich habe mich nicht darauf eingelassen, die Gültigkeit der Einthovenschen Regel für die drei Ableitungen zu untersuchen, sondern habe mich damit begnügt, anzunehmen, daß die Gipfel der Zacken von R und L annähernd als synchron betrachtet

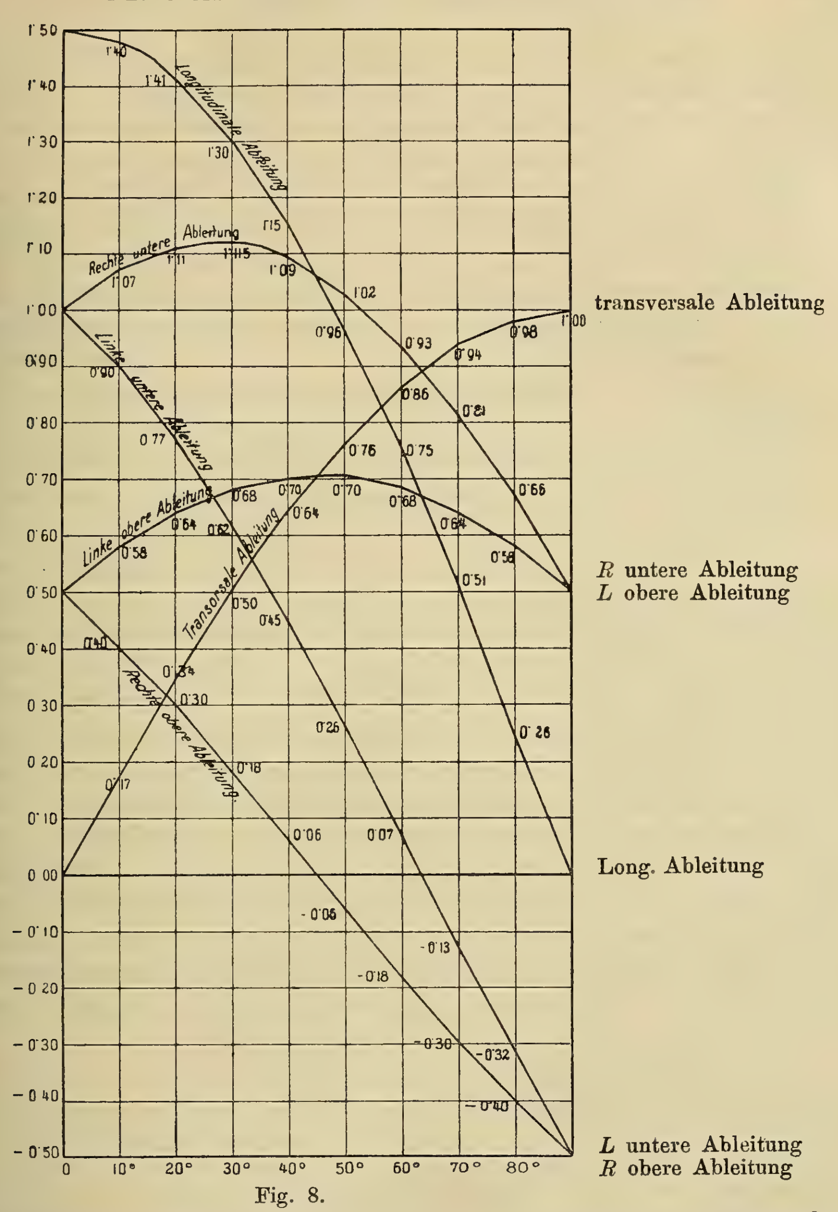


Fig. 8.

Spannungskurven für die verschiedenen Ableitungen bei verschiedener Neigung der Potentialachse.

Die Abszissen sind die Werte des Neigungswinkels a, in den Ordinaten die Spannungen: 100 mm = $^1/_{1000}$ Volt. Theoretisch, das heißt bei vollkommener zeitlicher Übereinstimmung der Zackenzipfel, müßten die Gleichungen bestehen: R. unt. — L. unt. = L. ob. — R. ob. = transversale; R. unt. + R. ob. = L. unt. + L. ob. = longitudinale.

Quer über die Tafel werden gleichlaufende Linien mit etwa 1 cm Abstand gezogen, die Äquipotentialen darstellen, und mit den Ziffern 1, 2, 3 usw. bezeichnet sind, die so viele Volt, Millivolt oder Mikrovolt bedeuten. Ein romanisches Kreuz, also ein Kreuz mit drei gleichen kürzeren oberen Armen und einem unteren, der die doppelte Länge hat, wird mit seinem Kreuzungspunkt in der Mitte der Tafel durch einen Nagel drehbar befestigt. (Ich habe übrigens auch ein Modell, an dem das Kreuz feststeht, während die Tafel drehbar ist, was manchem eine klarere Anschauung gewährt als das drehbare Kreuz auf feststehender Tafel.) Durch die Stellung des Kreuzes auf dem Liniensystem können die wirksamen und unwirksamen Ableitungen, ihre Veränderung bei verschiedenem Winkel α, die verschiedene Neigung der Potentialachse bei verschiedener Potentialspannung in R und L, u. a. m. dargestellt werden. Ich zeige damit meinen Medizinern, daß die unwirksamen Anordnungen (rechte obere und linke untere) negativ werden, wenn das Herz flach auf dem Zwerchfell ruht, und auf welche Weise es mir möglich ist, durch tiefe Einatmung bei mir selbst den Ausschlag der linken unteren Ableitung aus einem negativen in einen positiven zu verwandeln, und auf welche Weise es vielen unter ihnen möglich ist, an ihrer Kurve die umgekehrte Veränderung hervorzurufen, das heißt, durch eine tiefe Einatmung den Ausschlag von der linken unteren Ableitung aus einen positiven zu einem negativen zu machen. Nie versäume ich hinzuzufügen, daß man aus dieser Umkehrung nicht auf eine vorübergehende Unterbrechung der Erregungsleitung im rechten Arm des Hisschen Bündels zu schließen braucht. Übrigens komme ich auch nicht gern meinen medizinischen Hörern mit Sinus und Cosinus, wage aber doch zu Nutz und Frommen derer, die sich noch einige Überbleibsel von Trigonometrie aus ihrer Schulzeit bewahrt haben, zu erwähnen, daß die Verminderung des Ausschlages bei transversaler Ableitung, die bei tiefer Einatmung ausnahmslos an allen Herzen auftritt, dem Sinus des Neigungswinkels der Potentialachse proportional ist.

Um bestimmte Beispiele von der Benutzung des elektrokardiometrischen Kreuzes beim Unterricht zu geben, möge zunächst einmal

---

werden dürfen. In der Tat habe ich in einem Falle geschätzt, daß der Gipfel der linken Seite etwa 0·005 Sekunden vor den der rechten Seite fiel. In anderen Fällen konnte ich überhaupt keine Ungleichzeitigkeit finden. Daraus schloß ich, daß die Formel $\tan \alpha = 2\frac{R-L}{R+L}$ mit gutem Erfolg verwendet werden könne, wo man annehmen will, daß die Gipfel zeitlich übereinstimmen, obgleich ich zugeben muß, daß es in solchen Fällen, in denen der Ausschlag von der linken unteren Ableitung klein und positiv ist und ihm ein großer negativer folgt, zweifelhaft bleibt, welcher Wert für L in die Rechnung eingesetzt werden soll.

angenommen werden, das Kreuz sei senkrecht gestellt. Dann ist offenbar zwischen R und L kein Potentialunterschied. Der Winkel α muß Null sein, wenn die Ausschläge von R und L gleich sind, und das sind sie in diesem Fall, wo sie 5 dm (entsprechend 5 Dezimillivolt) für die oberen, 10 dm (entsprechend 10 Dezimillivolt) für die unteren Ableitungen betragen.

Wird das Kreuz gedreht, so daß R um einen Dezimeter gehoben und L um ebensoviel gesenkt wird, so sieht man, daß nunmehr folgende Potentialdifferenzen bestehen:

Bei transversaler Ableitung		2
,, rechter oberer Ableitung		4
,, linker oberer Ableitung	fast	6
,, rechter unterer Ableitung	fast	11
,, linker unterer Ableitung		9

Obere Ableitung:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{6-4}{6+4} = 0{\cdot}2$$
$$\alpha = 11^0$$

Untere Ableitung:

$$\operatorname{tang} \alpha = 2\frac{11-9}{11+9} = 0{\cdot}2$$
$$\alpha = 11^0.$$

Nun möge das Kreuz gedreht werden, bis sein längerer Arm mit der Vertikalen einen Winkel $\alpha = 80^0$ bildet. Man liest die Höhen ab, in denen nunmehr die Punkte $MRLF$ stehen, und erhält:

Für die transversale Ableitung	fast	10	(9·85)
,, ,, rechte obere Ableitung		—4	(4·05)
,, ,, linke obere Ableitung	fast	6	(5·79)
,, ,, rechte untere Ableitung	fast	6·5	(6·65)
,, ,, linke untere Ableitung	über	—3	(—3·17)

Nun berechne man nach der Formel den Winkel α (unter Berücksichtigung der Fehler bei so grober Ablesung), so ergibt sich für die obere Ableitung:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{6+4}{6-4} = 5$$
$$\alpha = 80^0$$

und für die untere Ableitung:

$$\operatorname{tang} \alpha = 2 \,.\, \frac{6.5+3}{6.5-3} = 5{\cdot}4$$
$$\alpha = 79{\cdot}5^0$$

Das Modell ist aber auch noch etwas mehr als ein bloßes Kindergartenspielzeug. Es ist tatsächlich ein Meßinstrument, mit Hilfe dessen man in einigen Augenblicken das Wertverhältnis für alle fünf Ableitungen für verschiedene Neigungswinkel der Potentialachse bestimmen und deren

Kurve aufzeichnen kann, sogar erheblich schneller, als es möglich ist, die Gleichungen für beliebigen Winkel anzusetzen und auszurechnen.

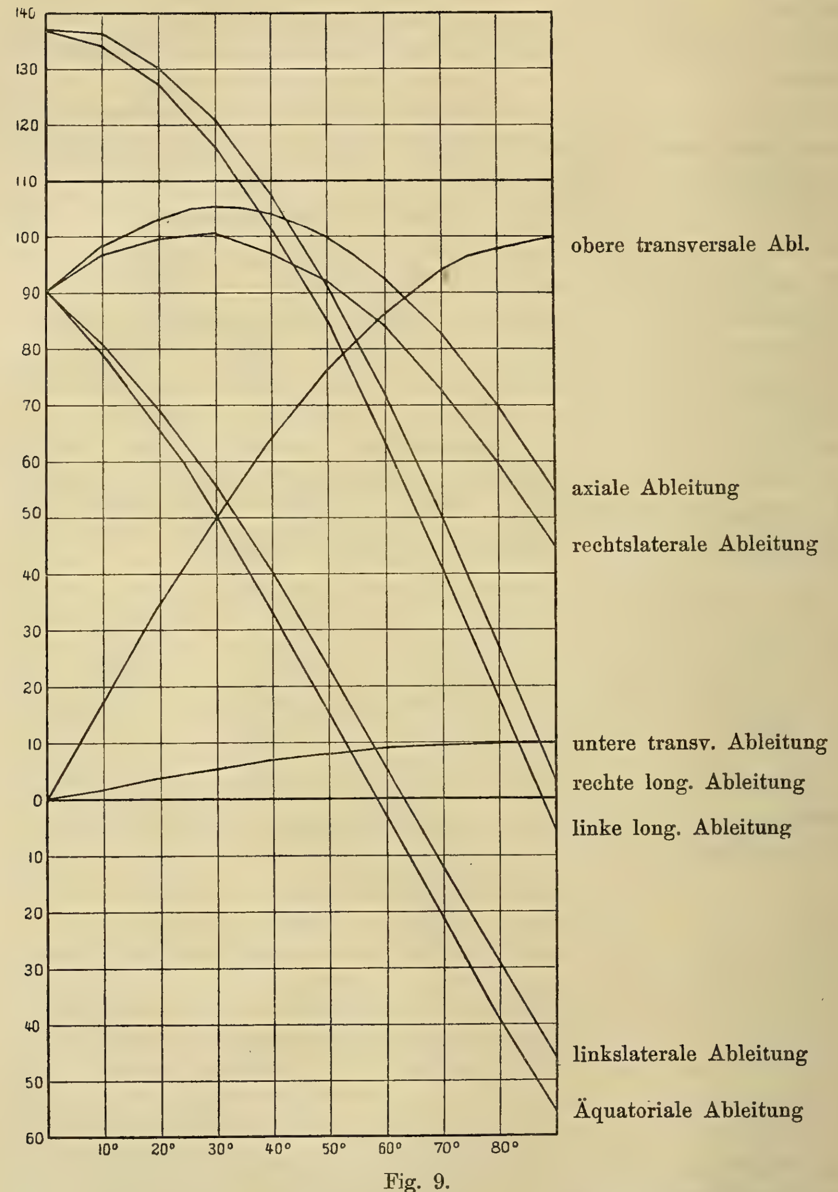


Fig. 9.

Spannungskurven für verschiedene Ableitungen bei verschiedener Neigung der Potentialachse. Angaben wie in Fig. 8.

Die Anwendung des Modells im Vergleich zur Rechnung wird aus der Fig. 7 ersehen werden können. Wenn das Kreuz *RMLF*, das die Ableitungspunkte darstellt, mit dem Kreuzungspunkt auf der Mitte der Spannungstafel befestigt und in beliebige Winkelstellungen von 10°, 20°, 30° usw. gedreht wird, kann man die Werte für die verschiedenen Ableitungen sofort festlegen, indem man mit einer Nadel durch die Punkte *RMLF* durchsticht und so die entsprechenden Stellen auf der Spannungstafel bezeichnet. Die elektromotorische Kraft jeder Ableitung bei jedem Neigungswinkel der Potentialachse ergibt sich dann aus dem Höhenunterschied zwischen den Stichmarken der betreffenden Ableitungspunkte. Z. B.: wie groß ist theoretisch für die Achsenneigung 30° der Wert für die linke untere Ableitung? Am Modell durch Einstechen gemessen, beträgt er 87 — 25 = 62. Die Berechnung ergibt 61·7. Wie groß wird der Wert für die Achsenneigung 70°? Die Stichlöcher zeigen 17 — 49 = —32. Die Berechnung ergibt —31 7. Man sieht gleich, daß der Ausschlag für die linke untere Ableitung negativ sein muß, wem die Lage des Herzens sich der Horizontalen nähert, und man kann leicht verstehen, wie es kommt, daß bei solcher Stellung des Herzens eine tiefe Einatmung den normalen negativen Ausschlag in einen positiven umwandelt.

Der Leser wird an der Fig. 9, auf der dieses Zahlenbeispiel dargestellt ist, ersehen können, daß, wenn bei linker unterer Ableitung die Zacke positiv und größer ausfällt als bei rechter unterer, wenn mithin die Potentialachse nach rechts abweicht, der Ausschlag bei transversaler Ableitung negativ sein muß.

Sind das neue oder alte Lehren? Ich weiß es wahrhaftig nicht. In ihrer Form ist diese geometrische Darstellung jedenfalls neu, in ihrer inneren Bedeutung ist sie aber alt, denn sie ist nur die Fortentwicklung des Prinzips der „unwirksamen“ und „wirksamen“ Anordnungen, das schon 1887 mit aller Bestimmtheit und Ausführlichkeit erkannt (und in du Bois-Reymonds Archiv, Jahrg. 1899, veröffentlicht) worden ist.

Ich möchte hier noch einmal hervorheben, wie tief ich mich Einthoven für das hervorragende Verdienst zu Dank verpflichtet fühle, das er sich um die Wissenschaft durch die Erfindung seines herrlichen Apparates erworben hat. Nur durch diesen ist es möglich gewesen, die Beobachtungen zu machen, auf die sich die geschilderte Fortentwicklung der Lehre vom Elektrokardiogramm aufbaut.

Tabelle I.

Werte von V_1 bei den verschiedenen Ableitungen, am Modell abgelesen:

α	IV. Rechts oben	V. Links ob.	I. Transv.	II. R. unt.	III. Links unt.	VI. Long.
0°	50	50	0	100	100	150
10°	40·5	58	17	107	90	148
20°	30	64	34	111	77	141
30°	18	68	50	112	62	130
40°	6	70	64	109	45	115
50°	— 6	70	76	102	26	96
60°	— 18	68	86	93	7	75
70°	— 30	64	94	81	— 13	51
80°	— 40·5	58	98	66	— 32	26
90°	— 50	50	100	50	— 50	0

Werke von V_1 bei den verschiedenen Ableitungen nach der Formel berechnet:

α	IV. $\cos(45+\alpha)\cos 45$	V. $\cos(45-\alpha)\cos 45$	I. $\sin\alpha$	II. $\frac{\cos(26\cdot5-\alpha)}{\cos 26\cdot5}$	III. $\frac{\cos(26\cdot5+\alpha)}{\cos 26\cdot5}$	VI. $1\cdot5\ \cos\alpha$
0°	500	500	000	1000	1000	1500
10°	405	579	174	1071	898	1477
20°	299	641	342	1110	769	1409
30°	183	683	500	1115	617	1299
40°	62	701	643	1086	445	1149
50°	— 62	701	766	1024	261	964
60°	— 183	683	866	932	68	750
70°	— 299	641	940	811	— 126	513
80°	— 405	579	985	665	— 317	260
90°	— 500	500	1000	500	— 500	0

Tabelle II.

Vom Modell abgelesen:

α	L. Lat. mm	Aequat. mm	R. Lat. mm	Axial. mm	R. long. mm	L. long. mm
0°	90	90	90	90	140	140
10°	81	79	96	98	136	134
20°	69	66	100	103	130	127
30°	55	50	100	105	121	116
40°	40	33	98	104	107	101
50°	23	15	92	100	91	63·5
60°	6	— 3	84	93	72	63·5
70°	— 1	— 21	73	83	50	41
80°	— 3	— 38·5	60	70	27	18
90°	— 4·5	— 55	45	55	3·5	— 3·5

Tabelle II (Fortsetzung).
Nach der Formel berechnet:

α	L. Lat.	Aequat.	R. Lat.	Axial.	R. long.	L. long.
0°	8·999	8·999	8·999	8·999	13· 71	13· 71
10°	8·083	7·905	9·640	9·819	13· 58	13· 41
20°	6·915	6·569	10·010	10· 34	13· 02	12· 69
30°	5·550	5·036	10· 03	10· 54	12· 07	11· 58
40°	4·010	3·349	9·777	10· 43	10· 74	10· 13
50°	2·346	1·524	9·221	10· 01	9·099	8·358
60°	0·614	— 0·276	8·385	9·274	7·174	6·340
70°	— 1·139	— 2·104	7·295	8·258	5·032	4·129
80°	— 2·856	— 3·864	5·981	6·993	2·738	1·793
90°	— 4·486	— 5·514	4·486	5·514	0·359	— 0·359

In dieser Zahlenübersicht habe ich noch einen sechsten Stab zugefügt, der die Werte für die longitudinale Ableitung (Mund und Füße) angibt, die natürlich der Summe der Werte für die obere und untere Ableitung jederseits gleich sein müssen. Der allgemeine Wert dieser Ableitung ist $1 \cdot 5 \cos \alpha$. Das Verhältnis zwischen transversaler und longitudinaler Ableitung ist hier $\sin \alpha : 1 \cdot 5 \cos \alpha$ oder $\frac{1}{1 \cdot 5} \operatorname{tang} \alpha$. Die Größe des Winkels α kann also auch aus den Werten der Ausschläge bei transversaler und longitudinaler Ableitung abgeschätzt werden, und zwar nach der Formel:

$$\operatorname{tang} \alpha = 1 \cdot 5 \frac{T}{L}.$$

Ich habe aber diese Formel nicht systematisch angewendet, weil die Gipfelpunkte der Zacken T und L asynchron sind, und habe zur Bestimmung von α der Formel

$$\operatorname{tang} \alpha = 2 \frac{R - L}{R + L}$$

den Vorzug gegeben.

Man kann das Modell auch benutzen, um angenäherte Werte für die Ausschläge bei der äquatorialen, axialen, rechts- und linkslateralen Ableitung zu erhalten.

In der zweiten Zahlenübersicht ist wie zuvor für 1 Millivolt der Wert 100 angesetzt. Beachtet man die geringfügige Potentialdifferenz, die zwischen beiden Füßen besteht, und stellt sie mit 0·1 Millivolt in Rechnung, so sieht man, daß von dem unteren Dreieck die Spitze durch die Gerade lr abgetrennt werden muß (Fig. 7b). Man hat dann

$Lhlf$ entsprechend der linkslateralen Ableitung
$Lhrf$,, ,, äquatorialen ,,
$Rhrf$,, ,, rechtslateralen ,,
$Rhlf$,, ,, axialen ,,

und kann die Werte für den Ausschlag bei diesen Ableitungen für beliebige Größen des Winkels α durch Nadelstiche in den Punkten r und l abstecken. Die so gefundenen Zahlen sind in der zweiten Zahlenübersicht zusammengestellt, deren untere Hälfte die entsprechenden berechneten Zahlen enthält. Die Verringerung der Höhe des Dreiecks und die kleine Veränderung des Winkels infolge der Abtrennung der Spitze hätten zwar vernachlässigt werden dürfen, sie sind aber bei der Rechnung in Betracht gezogen worden. Die Figur zeigt sehr schön, daß die axiale Ableitung die rechtslaterale ein wenig an Wirksamkeit übertrifft und ebenso die linkslaterale die äquatoriale. Sie zeigt ferner, daß bei äquatorialer Ableitung der Ausschlag etwas größer wird als bei linkslateraler, wenn die Ausschläge negativ sind. Der Wendepunkt, in dem die Kurven die Nulllinie schneiden, liegt für die äquatoriale Ableitung bei der Achsenneignng 58°, für die linkslaterale bei 64°. Daher empfiehlt es sich, wenn man den Versuch mit der Umkehrung des Ausschlages machen will, die linkslaterale Ableitung zu wählen, wenn der Umschlag von negativ zu positiv durch tiefe Einatmung gezeigt werden soll, und die äquatoriale Ableitung, wenn der Umschlag von positiv zu negativ durch Ausatmung gezeigt werden soll. Infolge der geringfügigen Potentialdifferenz, die zwischen beiden Füßen besteht, ist theoretisch ein gewisser Unterschied zwischen den Ausschlägen bei rechter und linker longitudinaler Ableitung, und der bei linkslongitudinaler Ableitung kann negativ sein.

Der Einfluß der Atembewegungen auf das Elektrokardiogramm ist beträchtlich, schwankt aber je nach der Wahl der Ableitungsstellen und nach persönlichen Verschiedenheiten. Bei mir selbst (das Herz liegt bei mir horizontal) ist er bei sämtlichen Ableitungen sehr bedeutend. So kann ich z. B. durch angestrengte Einatmung den Ausschlag bei der linken unteren Ableitung, der normalerweise negativ ist, umkehren. Bei einem meiner Söhne (J. C. W.), mit einer Neigung der Herzachse von 30°, ist der Einfluß der Atembewegungen auch sehr groß. So vermag er z. B. durch angestrengte Ausatmung den Ausschlag bei der linken unteren Ableitung, der normalerweise bei ihm positiv ist, negativ zu machen. Dagegen ist in diesen beiden Fällen die Einwirkung der Atembewegungen auf den Ausschlag bei rechter unterer Ableitung verhältnismäßig gering.

Bei meinen ersten Untersuchungen im Jahre 1887, die ich an mir selbst vornahm, wurde ich durch diese respiratorischen Schwankungen gestört, und gewöhnte mich, um sie zu vermeiden und die transversale Ableitung in voller Stärke zu beobachten, den Atem in Exspirationsstellung anzuhalten. Ich bildete mir damals ein, daß die Ableitung vom

Herzen zur Peripherie durch den Verengungszustand des Brustkorbes begünstigt werde, habe aber diese Ansicht später meinen weiteren Beobachtungen gemäß verändert.

Die respiratorischen Schwankungen der Gipfelhöhen des Elektrokardiogrammes sind in den letzten Jahren von Einthoven, von Samojloff und von Kraus und Nicolai verzeichnet und untersucht worden. Ich habe ihnen erst letzthin eingehende Beachtung geschenkt und sie systematischer Beobachtung unterworfen. In den Proc. of the Physiol. Soc. vom Juni 1913 habe ich kurz über den Einfluß verschiedener Ableitungen bei verschiedener Neigung des Herzens (vertikale und horizontale Herzlage) berichtet. Die Zacke V_I nimmt bei Inspiration zu, am meisten die große positive V_I-Zacke, die sich bei horizontaler Herzlage findet. Bei dieser Herzlage nimmt der Ausschlag bei Inspiration auch bei der rechtslateralen Ableitung zu, während bei linkslateraler, wo der Ausschlag negativ ist, eine Verkleinerung eintritt. Bei vertikaler Herzlage sind die Einwirkungen der Atmung weniger deutlich. Bei Inspiration nimmt der Ausschlag zu bei transversaler und bei linker unterer Ableitung, und nimmt meist ein wenig ab (manchmal aber auch etwas zu) bei der rechten unteren Ableitung. Der Ausschlag bei linker oberer Ableitung nimmt bei Inspiration ein wenig ab bei horizontaler Herzlage und bei vertikaler Herzlage. Der Ausschlag bei rechter oberer Ableitung, der bei vertikaler Herzlage positiv ist, nimmt zu, aber bei horizontaler Herzlage, bei der er negativ ist, ab. Diese etwas verwirrende Reihe von Einzelangaben wird verständlicher und faßlicher, wenn man das Schema der Fig. 9 zu Hilfe nimmt, das die theoretischen Werte der Spannungen für die fünf Ableitungen bei verschiedenen Neigungen der Potentialachse von 0° bis 90° angibt. Es leuchtet ein, daß mit dem Absteigen des Zwerchfells bei der Einatmung die Herzachse der vertikalen Lage näher kommt, so das z. B. bei transversaler Ableitung der Ausschlag abnehmen muß in dem Verhältnis, in dem der Sinus des Achsenwinkels kleiner wird. So muß z. B., wenn es sich um horizontale Herzlage handelt nnd mithin die Achse des Herzens bei Exspirationsstellung mit der Vertikalen einen Winkel von 90° einschließt, bei tiefster Inspiration einen Winkel von 45°, die Größe von V_I bei 90° zu der bei 45° sich verhalten wie sin 90° zu sin 45°, das heißt wenn der Wert von V_I bei Exspiration 1 Millivolt beträgt, wird er bei Inspiration auf 0·7 Millivolt herabgehen. Und für dasselbe horizontal gelagerte Herz ist auf dem Schema zu ersehen, daß die verkehrte Zacke bei linker unterer Ableitung, deren Wert —0·5 Millivolt ist, bei Inspiration zu dem Wert +0·3 Millivolt umschlägt, was bedeutet, daß durch das Absteigen des Zwerchfells der Winkel zwischen

Herzachse und Vertikallinie auf 48° herabgegangen ist. Solche Betrachtungen führten mich dazu, die beiden Aufnahmen zu machen, die in der Fig. 4 wiedergegeben sind. A. D. W. hat ein horizontal gestelltes Herz

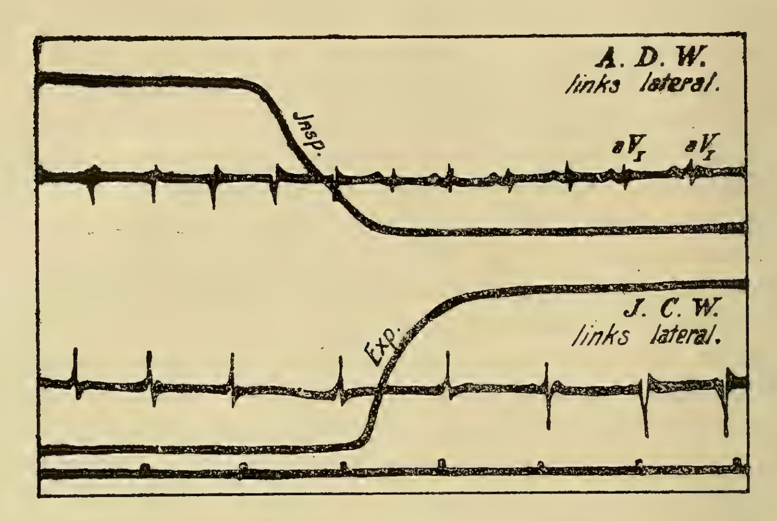


Fig. 4.
Oben das Elektrokardiogramm und die Atemkurve von A. D. W.
Bei Inspiration wird die negative Ventrikelzacke positiv.
Unten das Elektrokardiogramm und die Atemkurve von J. C. W.
Bei Exspiration wird die positive Ventrikelzacke negativ.
Beide bei linkslateraler Ableitung aufgenommen.

und gibt bei linker unterer Ableitung bei ruhiger Atmung negative Ausschläge. Bei tiefster Inspiration schlägt die negative Zacke um und wird positiv. J. C. W. hat bei ruhiger Atmung eine mittlere Schräglage des Herzens (die Potentialachse ist um 39° bis 48° geneigt) und der Ausschlag von der linken Ableitung ist bei ihm positiv. Bei tiefster Ausatmung schlägt die positive Zacke um und wird negativ. Der Leser, der die Grundtatsachen richtig aufgefaßt hat, wird keine besondere Erklärung mehr dafür verlangen, daß während bei A. D. W. die Ausschläge bei rechter unterer und linker oberer Ableitung, die beide positiv sind, durch tiefe Einatmung vergrößert werden, bei J. C. W., dessen Kurve ebenfalls positive Zacken aufweist, durch tiefe Einatmung im Gegenteil die Höhe der Zacken ein wenig vermindert wird.

Sehr viel Gewicht ist in den letzten Jahren auf die Untersuchung von Fällen von Situs viscerum inversus gelegt worden. Ganz kürz-

lich sind solche Fälle ausführlich von Samojloff[1] und von Kraus und Nicolai[2] beschrieben worden.

Es versteht sich von selbst, was aus dieser Umkehrung für die Stromverteilung folgen muß. Die gegenseitige Lage der unwirksamen und wirksamen Ableitungen wird ins Entgegengesetzte verkehrt, aber nur für einen einzigen Fall, nämlich für die transversale Ableitung, bekommt die Stromrichtung selbst die entgegengesetzte Richtung. Das Schema, das diesen Sachverhalt ausdrückt, ist einfach das Spiegelbild des Schemas für den Normalfall. Alles dies ist schon in meinen ersten Schriften aus den Jahren 1887 bis 1889 klar ausgesprochen worden. Das ist doch ein unzweifelhafter Beweis, daß ich auch damals schon genau gewußt haben muß, was es damit auf sich hatte, als ich den Unterschied zwischen rechter und linker Ableitung auf verschiedene Neigungswinkel der Herzachse zurückführte. Aber so selbstverständlich der Tatbestand jetzt auch erscheint, in jener ersten Zeit hat er erst mühsam erforscht werden müssen, und es galt damals zunächst den grundlegenden Unterschied zwischen wirksamer und unwirksamer Anordnung nachzuweisen. Die elektromotorische Wirksamkeit des Herzens bei Situs inversus war für meine Lehren vom Jahre 1889 von ausschlaggebender Bedeutung. Es war nicht etwa zufällig, daß ich 1887 Fälle von Situs inversus auf die Herzströme hin untersuchte, im Gegenteil, ich bedurfte solcher Fälle zur Bestätigung meiner Ansicht über das elektrische Verhalten des normal gelagerten Herzens, und ich erinnere mich noch recht wohl, wie ich zwei Tage lang ganz London wie eine Art Detektivbeamter durchsuchen mußte, um zweier Individuen habhaft zu werden, die in den Büchern der Krankenhäuser als Fälle von Situs inversus verzeichnet gestanden hatten. Der eine wurde sogar zufällig gerade von den Gerichten gesucht, und es war also nicht ganz leicht, ihn an das Elektrometer heranzubringen. Ich besinne mich auch noch deutlich auf die Genugtuung, die ich empfand, als ich diese beiden Fälle mit Hilfe einer Silberelektrode vom Munde zum Elektrometer untersuchte und beim Eintauchen der rechten Hand in ein Gefäß mit Kochsalzlösung, das an den anderen Pol des Elektrometers angeschlossen war, der Meniskus „ja“ sagte, „nein“ dagegen, sobald die linke Hand an Stelle der rechten trat. (Vielleicht noch lebhafter ist allerdings meine Erinnerung an die abscheuliche Enttäuschung, die ich mit dem ersten mühsam erbeuteten Fall erlitt, als ich ihn, der ganz normalen Situs hatte, ans Elektrometer stellte und seine linke Hand „ja“ sagte, während die rechte verneinte, wie bei jedem gewöhnlichen Menschen.)

[1] A. a. O. S. 197.

[2] A. a. O.

Die Umständlichkeit, mit der ich über diese Erinnerungen berichte, möge damit entschuldigt werden, daß sie dazu dienen, die grundlegende Unterscheidung zwischen „wirksamer“ und „unwirksamer“ Ableitung ins rechte Licht zu stellen, die auch jetzt durchaus noch nicht gebührend gewürdigt wird.

Man bedenke nur, was gewöhnlich in der Klinik über die elektrische Diagnose der Hypertrophie oder der Hyperdynamie der (linken) Kammer durch Leitungsstörung in einem (dem rechten) Schenkel des Hisschen Bündels gelehrt wird. Man lehrt klinisch und empirisch, daß die elektrischen Kennzeichen von Hypertrophie der rechten Kammer in einer verhältnismäßig großen R_I-Zacke und einer verhältnismäßig kleinen R_{II}-Zacke bestehen oder, nach meiner Bezeichnungsweise ausgedrückt, daß die Zacke V_I bei transversaler Ableitung klein, bei linkslateraler groß ist. Ich deute das so, daß die elektromotorische Kraft auf der linken Körperhälfte nahezu ebenso groß ist wie auf der rechten und daß sie daher bei transversaler Ableitung natürlich entsprechend gering sein muß. Dies ist aber meiner Auffassung nach das Kennzeichen der vertikalen Herzlage, also eines ganz normalen Zustandes. Ich will allerdings gern zugeben, daß diese Zeichen auch bei Herzleidenden vorkommen und daß sie auch bei rechtsseitiger Hypertrophie oder Dilatation oder bei relativer Schwäche der linken Kammer bestehen können.[1]

Ferner lehrt die Klinik, daß die elektrischen Kennzeichen linksseitiger Kammerhypertrophie in verhältnismäßig großer R_I-Zacke und verhältnismäßig kleiner oder sogar verkehrter R_{III}-Zacke bestehen oder, nach meiner Bezeichnungsweise ausgedrückt, daß dabei die Zacke V_I bei transversaler Ableitung groß, bei linkslateraler Ableitung klein ist. Ich deute dies so, daß zwischen beiden Körperhälften eine beträchtliche elektrische Asymmetrie besteht, das heißt daß die Potentialachse weit von der Vertikalen abweicht. Dies ist nach meiner Auffassung einfach das Kennzeichen der horizontalen Herzlage, also eines wiederum ganz gewöhnlichen normalen

[1] In obigem beziehen sich die Ausdrücke vertikal, horizontal, schräg auf die Richtung der Potentialachse, nicht auf die anatomische Längsachse des Herzens Die Richtungen der elektrischen und der anatomischen Achse fallen durchaus nicht genau zusammen und weichen in vielen Fällen erheblich voneinander ab. So findet man nicht selten, daß die elektrische Achse nach rechts geneigt ist, während die anatomische, wie das Orthodiagramm beweist, unzweifelhaft nach links abweicht. Wiederum bleibt die anatomische Achse, selbst wenn das Herz schlaff auf dem Zwerchfell anliegt, so daß eine sehr große Abweichung von der Vertikalen besteht, doch immer noch unter der Horizontalen, während der elektrische Befund eine Achsenneigung von über 90° anzeigt, also der Achse eine Lage über der Horizontalen zuweist.

Zustandes. Ich will aber durchaus nicht bestreiten, daß dies Zeichen auch bei Hypertrophie der linken Kammer oder bei einer bestimmten Störung im rechten Schenkel des Hisschen Bündels vorkommen kann.

Ich bin mit größter Aufmerksamkeit der erstaunlichen Entwicklung der klinischen Lehre vom Elektrokardiogramm gefolgt. Eigentlich gegen meine Erwartung habe ich die Überzeugung gewonnen, daß die elektrische Untersuchung des menschlichen Herzens zu praktischen Erfolgen führen kann. Es scheint mir, daß das größte Verdienst um diesen Fortschritt Einthoven zugeschrieben werden muß, erstens wegen seines vortrefflichen Galvanometers und seiner systematischen Methodik, dann aber auch, weil er der erste gewesen ist, der die elektrischen Symptome der Dissoziation, der Arythmie und der Extrasystolen bestimmt hat. Ohne sein Galvanometer hätten diese pathologischen Verhältnisse überhaupt nicht untersucht werden können, und auch das Verhalten des normalen menschlichen Herzens hätte nicht so genau erforscht werden können, wie es jetzt möglich ist. Dennoch aber kommt es mir so vor, als gingen die Forscher von heute, indem sie sich so eng an Einthovens drei Ableitungen I, II und III und an Einthovens Satz II — I = III und an seine Zacken P, Q, R, S, T und U in ihren verschiedenen Gestalten klammern, einen Weg, der schwerlich zu viel neuen Erkenntnissen führen wird und der schon ganz erhebliche Verirrungen verursacht hat. Man denke beispielsweise an die klinische Lehre von den Störungen im Hisschen Bündel. Ich möchte nicht geradezu behaupten, daß sie ein bloßes Hirngespinst ist, aber ich muß bekennen, daß ich nicht im mindesten von der Richtigkeit der aus dem Elektrokardiogramm erhobenen Befunde von Leitungsstörung in den Tawaraschen Fasern überzeugt bin. Soweit meine Literaturkenntnis reicht, ist die gewöhnlich angegebene Störung Leitungsunterbrechung (infolge von Gumma oder Sklerose) im rechten Schenkel des Bündels, und das elektrische Kennzeichen, auf das sich die Diagnose stützt, ist eine negative Zacke bei linker Ableitung (R_{III}). Man scheint gar nicht zu beachten, daß eine solche negative Zacke auf ganz normalen, von der linken Hand aufgenommenen Kurven vorkommt. Man denke ferner an einen anderen Fall, nämlich an die elektrischen Symptome von rechts- und linksseitiger Hypertrophie. Im ersten Fall handelt es sich um kleine R_I-Zacke und große R_{III}-Zacke, im anderen um große R_I-Zacke und kleine oder verkehrte R_{III}-Zacke. Theoretisch kann sehr wohl ein solcher Zusammenhang bestehen, aber leider wird immer nur die Tatsache als unerklärter und rein erfahrungsmäßig festgestellter Befund angegeben. Ich möchte die Frage aufwerfen, ob unter diesen Umständen diese Lehre viel nützen kann und ob sie nicht vielmehr irreleitend wirkt.

Die elektrischen Symptome müßten, soweit sie überhaupt eine Störung des Gleichgewichtes beider Herzhälften anzeigen, in der Weise beurteilt werden, wie ich es zuerst im Jahre 1889 getan habe und die ich in vorliegender Abhandlung auseinanderzusetzen versucht habe, das heißt man sollte aus ihnen zunächst nur auf eine Veränderung der normalerweise vorhandenen elektrischen Ungleichheit zwischen den beiden Körperhälften schließen. Es ist sehr gut möglich, daß Vergrößerung der rechten Herzhälfte den Ausschlag der linken Hand verstärken und so die Ungleichheit zwischen rechts und links und mithin den Ausschlag bei transversaler Ableitung herabsetzen kann, und daß Vergrößerung der linken Herzhälfte den Ausschlag der linken Hand verringern und die Ungleichheit zwischen rechts und links vergrößern und damit den Ausschlag bei transversaler Ableitung erhöhen kann. Eben darum aber wird es sich empfehlen, weitere Beobachtungen zu machen, die Veränderung der Achsenneigung unter verschiedenen physiologischen Verhältnissen zu untersuchen, den Wert des Winkels oberhalb so gut wie unterhalb des Herzens zu bestimmen. Eben darum meine ich, daß der klinische Forscher gut tun würde, der grundlegenden Anschauung von den wirksamen und unwirksamen Ableitungen mehr Aufmerksamkeit zu schenken, die bei meinen ersten Untersuchungen 1887 bis 1889 das Leitmotiv war und noch jetzt das Leitmotiv meiner Beobachtungen und Berechnungen ist. Diese ,,alte Geschichte“ bleibt eben ,,ewig neu“.

Das

ARCHIV

für

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE,

Fortsetzung des von Reil, Reil und Autenrieth, J. F. Meckel, Joh. Müller, Reichert und du Bois-Reymond herausgegebenen Archives,

erscheint jährlich in 12 Heften (bezw. in Doppelheften) mit Figuren im Text und zahlreichen Tafeln.

6 Hefte entfallen auf die anatomische Abteilung und 6 auf die physiologische Abteilung.

Der Preis des Jahrganges beträgt 54 *M*.

Auf die anatomische Abteilung (Archiv für Anatomie, herausgegeben von Dr. Wilhelm v. Waldeyer-Hartz, Dr. Hans Virchow und Dr. Paul Röthig in Berlin) sowie auf die physiologische Abteilung (Archiv für Physiologie, herausgegeben von Dr. Max Rubner) kann besonders abonniert werden, und es beträgt bei Einzelbezug der Preis der anatomischen Abteilung 40 *M*, der Preis der physiologischen Abteilung 26 *M*.

Bestellungen auf das vollständige Archiv, wie auf die einzelnen Abteilungen nehmen alle Buchhandlungen des In- und Auslandes entgegen.

Die Verlagsbuchhandlung:

Veit & Comp. in Leipzig.

Metzger & Wittig, Leipzig.

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,

PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

UND

DR. MAX RUBNER,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1917.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

MIT FÜNFUNDVIERZIG FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1918



Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *dreißig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 ℳ Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge für die anatomische Abteilung sind an

Professor Dr. **Wilhelm v. Waldeyer-Hartz** oder an Professor Dr. **H. Virchow** oder an Dr. **P. Röthig**, sämtlich in Berlin N.W., Luisenstr. 56

Beiträge für die physiologische Abteilung an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden. — Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom **Manuskript** getrennten Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, eine **Zusammenstellung**, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizulegen.

Die physiologischen Vorgänge in der Netzhaut und ihre Deutung auf Grund neuer Methoden.

Von

Dr. phil. et med. **Lothar Tirala**,

Assistenten am physiologischen Institut der Wiener Universität, dz. im Felde.

(Hierzu Taf. I.)

Inhaltsübersicht.

I. Die früheren Arbeiten über den Netzhautstrom und die Probleme.

1. Verlauf des Netzhautstromes.

Wenn man das Auge eines Frosches aus der Orbita herauspräpariert, ohne es dabei stark durch Druck oder Zug zu schädigen, so kann man dadurch, daß man zwei Elektroden an verschiedenen Stellen des Bulbus anlegt, durch ein Galvanometer einen elektrischen Strom nachweisen. Diesen Strom nennen wir den Bestandstrom. Wir können dabei eine Elektrode an den Querschnitt des Nervus opticus, die andere an die Cornea anlegen, dann fließt bei allen Wirbeltieren dieser Strom im äußeren Stromkreis von der Cornea zum Opticusquerschnitt. Dieser Ruhestrom oder Bestandstrom wurde von du Bois-Reymond entdeckt und von allen Nachuntersuchern bestätigt. Der Bestandstrom ist am größten, wenn die Elektrode nicht den Querschnitt des Nervus opticus berührt, sondern den Funduspol des Auges, wie aus den Arbeiten von Westerlund hervorgeht. Hermann versuchte zwar diesen Strom auch als einen Alterationsstrom hinzustellen, es hat sich aber herausgestellt, daß dieser Strom in vollem Umfange bestehen bleibt, wenn man auch von einem Auge ableitet, welches ungeschädigt in der Orbita belassen wird. Holmgren war nun der erste, welcher Schwankungen dieses Bestandstromes, die bei Be-

lichtung des Auges sich einstellen, entdeckte. Als nun 10 Jahre nach seiner Entdeckung Dewar und M'Kendrick die Retinaströme neu entdeckten, denn die schwedische Abhandlung Holmgrens war in weiteren wissenschaftlichen Kreisen nicht bekannt geworden, wandte sich das Interesse zahlreicher Forscher diesen Fragen zu, was schon aus der großen Zahl von Arbeiten hervorgeht, welche über diesen Gegenstand veröffentlicht wurden. In diesen 30 Jahren haben die elektrischen Meßinstrumente aber auch eine Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit erfahren und man braucht nur darauf hinzuweisen, daß die ersten Untersucher wie Kühne und Steiner in den 80er Jahren mit dem Galvanometer (Bussole nach Wiedemann) arbeiteten, Gotch um 1900 mit dem Kapillarelektrometer, Ishihara um 1906 mit dem Galvanometer nach Deprez d'Arsonval, v. Brücke und Garten um 1907 mit dem Kapillarelektrometer, Einthoven und Jolly, Waller, Westerlund, Piper in den Jahren 1908 bis 1912 bereits mit dem Saitengalvanometer, um zu verstehen, daß die Autoren den verschiedenen Instrumenten entsprechend, auch verschiedene Angaben über den Verlauf der Ströme machten.

Holmgren sah sowohl bei Belichtung als bei Verdunkelung eines Auges je eine positive Schwankung des Bestandstromes.

Ich gebe hier ein schematisches Bild des Ablaufes der Retinaströme nach Holmgren:

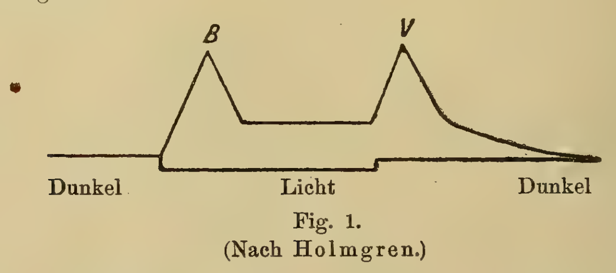


Fig. 1.
(Nach Holmgren.)

Dewar und M'Kendrick geben einen ganz ähnlichen Stromverlauf an, wie dies Schema zeigt:

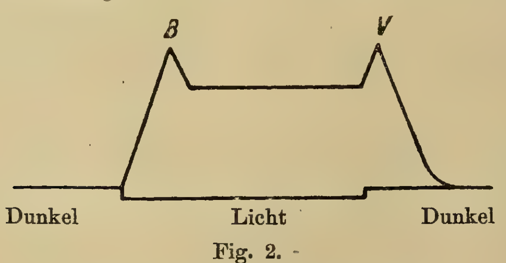


Fig. 2.
(Nach Dewar und M'Kendrick.)

Also bei Belichtung ein rasches Ansteigen und bald darauf ein Absinken des Stromes, bis dann bei Verdunkelung ein neuer jäher Anstieg des Stromes Kunde gibt von einer neuerlichen Veränderung der Umgebung.

Wir wollen diese beiden positiven Schwankungen bei Belichtung und Verdunkelung einem Vorschlage Exners gemäß als Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung bezeichnen. Doch berichten die beiden Forscher auch von einem Stromverlauf, der sich im Bilde so darstellt:

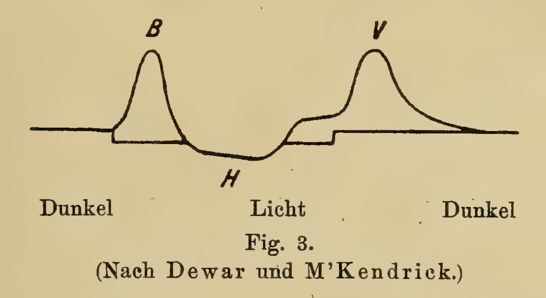


Fig. 3.
(Nach Dewar und M'Kendrick.)

Es kommt also nach der positiven Belichtungsschwankung zu einer negativen Schwankung während der Dauer der Lichteinwirkung. Diese Schwankung wollen wir ebenfalls nach Exner-Ishihara Helligkeitsschwankung nennen.

Kühne und Steiner, welche nicht nur am Bulbus, sondern auch an der herauspräparierten Retina arbeiteten, fanden, daß der Stromverlauf an der isolierten Netzhaut ähnlich dem ist, wie ihn Dewar und M'Kendrick beschreiben und nur bei ganz frisch isolierten Netzhäuten fehlt diese negative Helligkeitsschwankung;

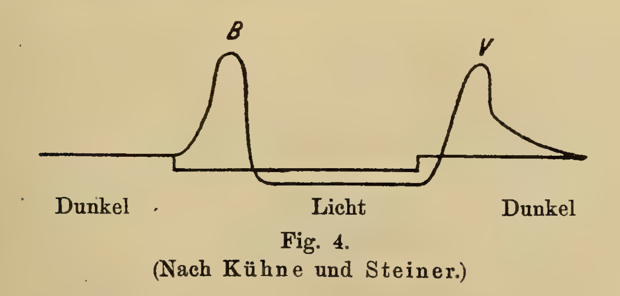


Fig. 4.
(Nach Kühne und Steiner.)

hingegen fanden sie bei Ableitung vom Augapfel eine Kurve von ungefähr folgender Form:

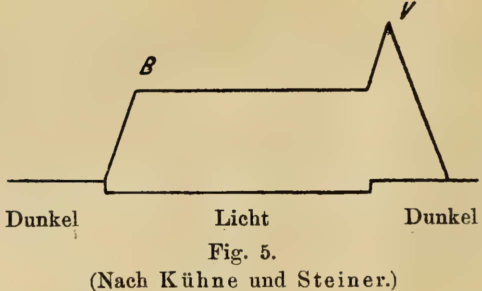


Fig. 5.
(Nach Kühne und Steiner.)

Hier fehlt also jeder negative Ausschlag während der Dauer der Belichtung und Kühne und Steiner verleihen ihrer Überzeugung Ausdruck, daß nur durch die Verwendung absterbender oder schon geschädigter Augen diese negativen Ausschläge zu erhalten seien. Waller hat diese Anschauung bestätigt und gezeigt, daß bei einem unversehrten Froschbulbus der Verlauf der Kurve fast identisch ist mit der Kurve Kühnes und Steiners. Man erkennt, daß die Kurve Fig. 6 während der Belichtung fast parallel mit der Abszisse verläuft, daß aber bei langsamem Absterben des Auges (Fig. 7) der Abstieg nach der positiven Belichtungsschwankung immer deutlicher wird, ja daß ein Teil der Kurve negativ wird, schließlich aber die ganze Belichtungsschwankung negativ wird.

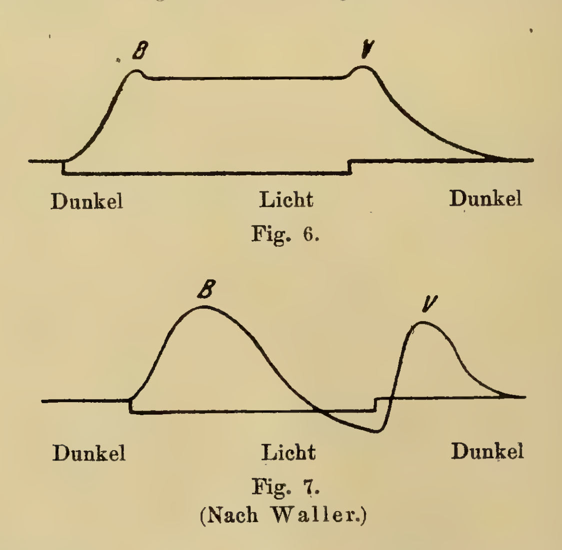


Fig. 6.

Fig. 7.
(Nach Waller.)

Wenn man also an einer Kurve negative Schwankungen sieht, so wird man daher zuerst den Verdacht beheben müssen, es mit einer Absterbenserscheinung zu tun zu haben.

Noch im Jahre 1902 waren Himstedt und Nagel der Meinung, daß die Netzhautströme der Kalt- und Warmblüter voneinander vollständig verschieden seien, weil man bei den Augen der Vögel infolge des raschen Absterbens häufig negative Schwankungen, z. B. Verdunkelungsschwankungen, erhielt und erst v. Brücke und Garten waren mit verbesserten Methoden im Jahre 1906 imstande, zu zeigen, daß der Verlauf der Netzhautströme in der Reihe der Wirbeltiere, wenn man von kleinen Unterschieden absieht, ein prinzipiell gleichartiger sei. In ähnlicher Weise beschreibt Ishihara den Verlauf der Retinaströme. Bei Belichtung eines Auges erschien zuerst eine mehr oder weniger deutliche positive Belichtungsschwankung, auf welche etwas weniger steil, mehr langsam ansteigend, die sogenannte Helligkeitsschwankung folgt, welche je nach der Dauer der Belichtung verschiedene Form aufweist, schließlich kommt es bei der Verdunkelung zu einem positiven Ausschlag, dem Verdunkelungsausschlag. Zu einer ganz ähnlichen Kurve war schon Gotch im Jahre 1903 gekommen, doch hat er an einem empfindlichen Kapillarelektrometer zum ersten Male nachweisen können, daß es vor der positiven Belichtungsschwankung einen kurzen, negativen Vorschlag gibt, so daß das Bild der Kurve jetzt nach Gotch sich wie folgt darbietet:

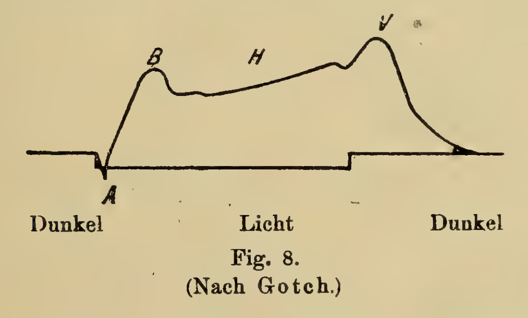


Fig. 8.
(Nach Gotch.)

Gotch nennt unsere Belichtungsschwankung den On-Effekt, die positive Verdunkelungsschwankung den Off-Effekt, die Helligkeitsschwankung den Continous-Effekt, für den negativen Vorschlag hat er keinen Namen. Ihm sind hierin Einthoven, Jolly und Waller gefolgt, obwohl v. Brücke und Garten hervorgehoben haben, daß dieses Wort Effekt zweideutig ist.

Alle Untersucher, die seither mit dem Saitengalvanometer arbeiteten, wie Brücke, Garten, Einthoven, Jolly, Piper, haben diese negative Schwankung gesehen und ich schlage vor, diese Schwankung A(enderungs)schwankung zu nennen.

Einthoven und Jolly, welche zum ersten Male nur mit dem Saitengalvanometer arbeiteten, konnten ebenso wie Brücke und Garten diese

negative Änderungsschwankung im Froschauge sowohl bei Dunkel- als Helltieren einwandfrei nachweisen, so daß eine schematische Wiedergabe der Kurve, wie sie nach dem derzeitigen Stande unserer Methodik von dem Dunkelauge eines Frosches mit dem Saitengalvanometer erhalten werden kann, folgendes Aussehen hat:

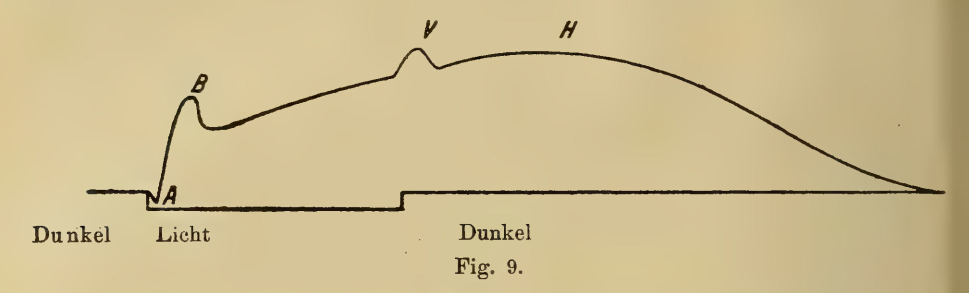


Fig. 9.

Wie wir sehen, ist bei dieser Kurve aber auch zum ersten Male nach der Verdunkelungsschwankung noch ein sanft ansteigendes Kurvenstück, der Continouseffekt, unsere positive Helligkeitsschwankung, welche Ishihara auch schon abgebildet, aber dadurch, daß er meist ziemlich lange belichtete, 10 bis 60″, fiel sie mit dem breiten Gipfel gewöhnlich noch in die Belichtungsdauer, so daß nach der positiven Verdunkelungsschwankung ein Ansteigen der Kurve von ihm nicht mehr beobachtet wurde, wie wir dies an dem Dunkelauge des Frosches auch bei kurzer, aber intensiver Belichtung sehen können.

Diese Netzhautstromkurve ist aber unter verschiedenen Bedingungen verschieden.

Am ausführlichsten haben noch Kühne und Steiner, Einthoven und Jolly die äußeren und inneren Bedingungen variiert. Wir wollen unterscheiden zwischen den Erscheinungen, die durch Veränderungen des Auges und solche, die durch Veränderung der Belichtung hervorgerufen werden.

Veränderungen am Auge.

ad 1. Die einfachste Änderung im Zustand des Auges wird bewirkt durch den Aufenthalt des Tieres im Hellen oder im Dunkeln, den Adaptationsvorgang, und je nach dem Adaptationszustand des Auges verläuft auch die Netzhautstromkurve.

Kühne und Steiner haben schon deutlich den Unterschied zwischen Hell- und Dunkelfröschen und einen quantitativen und qualitativen Unterschied zwischen den Kurven von einer purpurreichen und purpurlosen

Netzhaut behauptet. Schematisch ausgedrückt, würde das Netzhautstrombild des Dunkelauges *a* und Hellauges *b* sich so darstellen:

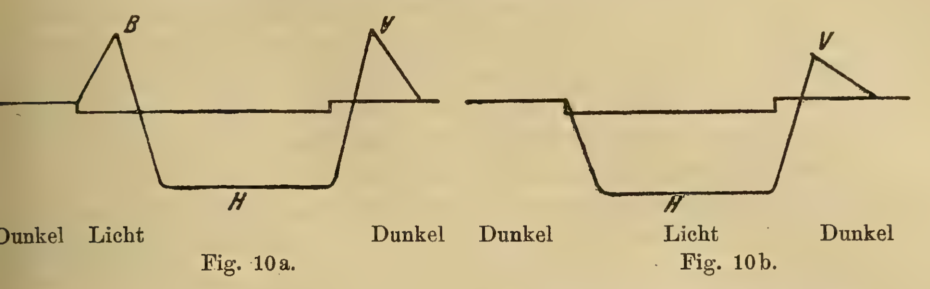


Fig. 10a. Fig. 10b.

Zu einem anderen Bild des Ablaufes der Netzhautströme gelangten Brücke und Garten, ebenso wie Einthoven und Jolly.

Schon Fig. 9, die Kurve von einem Dunkelauge, läßt diesen Unterschied zwischen Fig. 9 und 10 a deutlich erkennen, womöglich noch größer aber wird der Unterschied, wenn wir den Netzhautstrom von einem Lichtauge betrachten.

v. Brücke und Garten fanden auch beim Hellauge eine positive Belichtungsschwankung, allein nach dieser sinkt der Strom allmählich ab, um sich nur zu Beginn der Verdunkelung in einer positiven Verdunkelungsschwankung wieder zu heben.

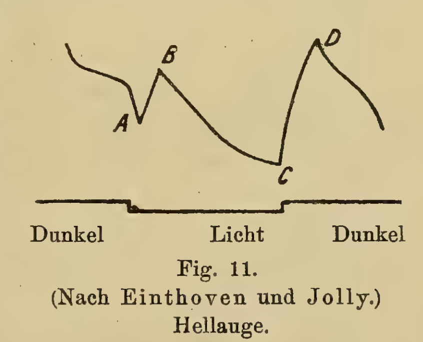


Fig. 11.
(Nach Einthoven und Jolly.)
Hellauge.

Ob die kleine negative Änderungsschwankung auf ihrer als typisch angegebenen Kurve (Tafel V, Fig. 2 ihrer Arbeit) zu sehen ist, wage ich nicht zu entscheiden, beschrieben wurde sie beim Hellauge von ihnen jedenfalls nicht.

Wir sehen aber, Fig. 11 aus der Arbeit von Einthoven und Jolly, daß zu Beginn der Belichtung unsere negative Änderungsschwankung sich einstellt, aber außerordentlich viel größer, als wir sonst diese Schwankung zu sehen gewöhnt sind, dann erkennen wir in der Zacke beim Punkt *B* unsere positive Belichtungsschwankung, die Helligkeitsschwankung fehlt überhaupt, dagegen ist die positive Verdunkelungsschwankung *CD* von außerordentlicher Höhe. Wir kommen also zu dem Schlusse, daß die photoelektrischen Kurven eines Hellauges und eines Dunkelauges voneinander wesentlich verschieden sind.

Die sich aufdrängenden Fragen über die Wirkung des Sehpurpurs oder einzelner Netzhautelemente unterdrücken wir jetzt und wollen sie in einem späteren Kapitel zu beantworten suchen.

Kühne und Steiner haben aber auch den Stromverlauf bei der Belichtung der herauspräparierten Netzhaut untersucht.

Die Resultate unterscheiden sich im Prinzip nicht von den Strömen, die bei Ableitung vom Bulbus gewonnen wurden, deshalb hat diese schwierige Methode keinen Anklang gefunden. Kühne und Steiner haben, um den Stromverlauf zu studieren, an Teilen der Bulbus gearbeitet, die Cornea entfernt, ebenso die Linse, die Iris, den Glaskörper, die Retina vom Pigmentepithel abgelöst, schließlich sogar nur einzelne Stückchen der Netzhaut belichtet, die Retinaströme bleiben dieselben. Die beiden Forscher haben auch vom Nervus opticus abgeleitet und zwar direkt die eine Elektrode an den Längsschnitt, die andere an den Querschnitt angelegt und so den Bulbus selbst ganz aus dem Stromkreis entferntt.



Fig. 12.
(Nach Kühne und Steiner.)

Der Nervus opticus zeigt einen deutlichen Ruhestrom und bei Belichtung, Fig. 12, kann man eine negative Stromschwankung nachweisen, welche während der ganzen Belichtung anhält, zu Beginn der Verdunkelung aber eine starke negative Schwankung. Solange also Licht auf das Sinnesepithel fällt, solange ist der Nervus opticus in Erregung. Kühne und Steiner berichten zwar, daß diese Ströme mit den vom Bulbus oder von der Retina abgeleiteten elektrischen Strömen keine Ähnlichkeit besitzen. Dagegen spricht aber ihr eigenes Schema und die Angabe von Ishihara, nach welcher Belichtungs- und Verdunkelungsschwankungen bei Ableitung des Nervus opticus auftreten. Ishihara befreite den Nervus opticus von seiner bindegewebigen Scheide und vermied sorgfältig bei der Anlegung der Elektroden die Berührung des Bulbus, um die Wirkung desselben auszuschalten. Der Aktionsstrom ist vou geringerer Intensität als bei normaler Ableitung, obwohl der Ruhestrom sehr bedeutend ist. Die am Nervus opticus gewonnenen Kurven sind im großen und ganzen ein Spiegelbild der am Bulbus gewonnenen. Ich gebe hier ein Schema der Kurven Ishiharas bei der Belichtungsdauer von 60″, wobei oberhalb der Abszisse gleichzeitig das Bild der vom Bulbus abgeleiteten Netzhautstromkurve wiedergegeben ist.

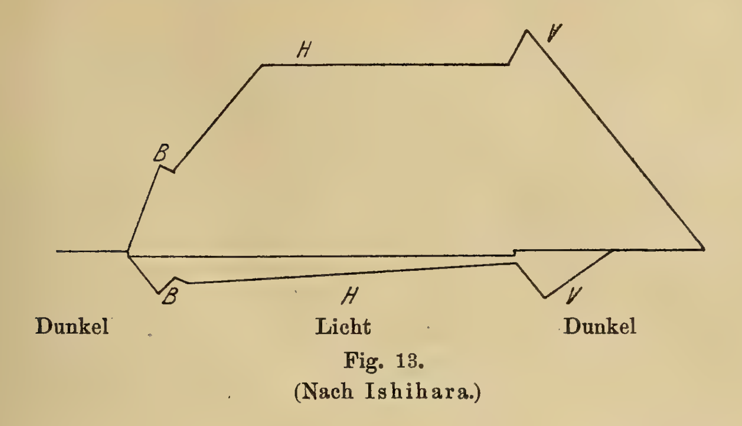


Fig. 13.
(Nach Ishihara.)

Eine bedeutende Helligkeits- und Änderungsschwankung ist von ihm bei dieser Ableitung vom Nervus opticus nicht beobachtet worden. Sehr sonderbar ist es, daß der Belichtungsausschlag bei Ishihara deutlicher bei der Opticuskurve, als bei der Bulbuskurve, scheint. Eine gewisse negative Helligkeitsschwankung hat Ishihara auch bei Ableitung vom Nervus opticus gefunden. Bei absterbendem Präparat soll die Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung früher aufhören als eine träg absinkende, sehr geringe negative Helligkeitsschwankung. Im übrigen sind die Versuche mit intermittierendem Licht bei der Ableitung vom Nervus opticus ganz analog ausgefallen, denen bei der Ableitung vom Bulbus. Jedenfalls wird es bei der nächsten Saitengalvanometerarbeit notwendig sein, bei allen Versuchen auch immer wieder die Ableitung vom Nervus opticus in Betracht zu ziehen.

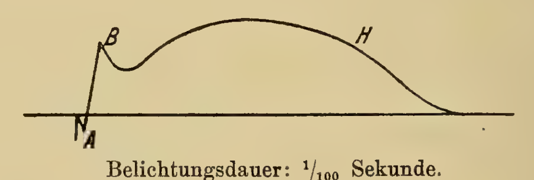
Es muß aber prinzipiell vorausgesetzt werden, daß alle Schwankungen der Netzhautstromkurve auch vom Nervus opticus, wenn auch nur spiegelbildlich, abgeleitet werden können, wenn die Netzhautstromkurve mit der Gesichtsempfindung zeitlich in irgendeine feste Beziehung gebracht werden soll.

Denn es ist klar, daß, wenn in der Netzhaut, sagen wir in der Stäbchen- und Zapfenschicht, irgendwelche Lebensvorgänge sich bei Belichtung und Verdunkelung abspielen, von denen wir durch die elektrischen Ströme Kunde erhalten, diese elektrischen Ströme aber nicht durch den Nervus opticus zum Zentralorgan weitergeleitet werden, daß diese Lebensvorgänge dann mit der Gesichtsempfindung in keiner Beziehung stehen, solange wir natürlich die übrigens wohlbegründete Meinung hegen, daß das Zentralnervensystem mit der Empfindung in einem innigeren Zusammenhang steht, als die nervösen Organe an der Peripherie.

ad 2. Wir haben jetzt den Stromverlauf besprochen, der zutage tritt, wenn der Zustand des Auges verändert wird. Der Stromverlauf ist aber auch verschieden, wenn die Lichtreize verändert werden. Die schematischen Darstellungen des Stromverlaufes, die ich bisher gab, beziehen sich meist auf konstante Belichtung, während einiger Sekunden. Anders bei ganz kurzer Belichtung. Schon Kühne und Steiner haben vor dem Froschbulbus einen elektrischen Funken aufblitzen lassen und dabei nur eine Belichtungsschwankung erhalten, nach welcher der Strom unter die Abszisse absinkt.

Bei der isolierten Retina sind die Ergebnisse dieser Forscher nicht eindeutig, einmal fast übereinstimmend mit dem Schema Fig. 20 (2), ein anderes Mal zeigt sich eine bedeutende negative Schwankung als einzige Wirkung.

Die Wirkung der Lichtblitze auf das Froschauge haben dann besonders Einthoven und Jolly genau untersucht. Sie bilden nach einer kleinen negativen Änderungsschwankung einen steilen, ziemlich hohen Belichtungsausschlag ab, der nach einem sanften Abstieg in die langsam und träg aufsteigende Helligkeitsschwankung übergeht, welche dann nach etwa 20 bis 30″ wieder zur Abszisse zurückkehrt. Ein Schema wird es verdeutlichen.



Belichtungsdauer: $^1/_{100}$ Sekunde.

Fig. 14.

(Nach Einthoven und Jolly.)

Was uns an der Kurve auffällt, ist das Fehlen des positiven Verdunkelungsausschlages.

Bei einem Lichtauge hingegen ist es vor allem ein kurzer Verdunkelungsreiz, der uns interessiert. Eine hohe, steil aufsteigende Verdunkelungsschwankung, welche immer wieder fast zur gleichen Höhe aufsteigt, ist seine Folge, sooft auch das Experiment wiederholt wird. Denn das Lichtauge wird natürlich durch einen kurzen Verdunkelungsreiz in seinem Adaptationszustand nicht geändert, wohl aber kann ein Dunkelauge durch ein oft wiederholtes Belichten „ermüdet" werden.

Wie wir sehen, überragt die Verdunkelungsschwankung die positive Belichtungsschwankung fast um das Doppelte. Die Helligkeitsschwankung hingegen fehlt vollkommen.

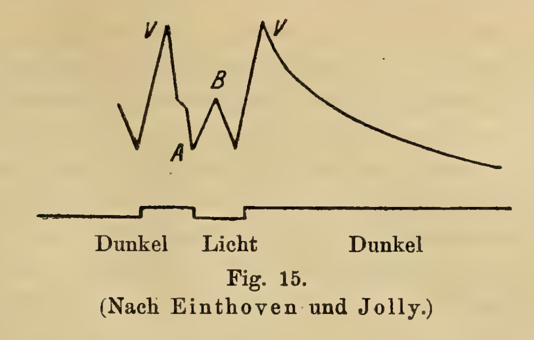


Fig. 15.
(Nach Einthoven und Jolly.)

Wie schwankt nun der Netzhautstrom, wenn man ein Dunkelauge mit intermittierendem Licht reizt? Ishihara hat diese Frage ausführlich zu beantworten gesucht. Die Kurve war im Grunde genommen dieselbe, nur stieg die positive Belichtungsschwankung höher an, als bei konstantem Licht. Ganz ähnlich berichten auch Kühne und Steiner. Weil diese Autoren noch nicht mit dem Saitengalvanometer arbeiten konnten, blieb es den späteren Forschern, z. B. Piper, vorbehalten, die Verhältnisse aufzuklären. Wenn die einzelnen Lichtreize auf das Dunkelauge des Frosches nicht öfter als 15 mal in der Sekunde fallen, so erhält man eine Kurve, in welcher man die einzelnen Änderungs-, Belichtungs- und Verdunkelungsschwankungen noch unterscheiden kann; wird diese Zahl der Lichtreize überschritten, oder, anders ausgedrückt, die Verschmelzungsfrequenz erreicht, so wird in der Kurve nur mehr eine große Belichtungs- und Helligkeitsschwankung ersichtlich, als ob mit einer stetigen Lichtquelle gereizt worden wäre. Die Tagvögel besitzen eine Verschmelzungsfrequenz von 40 Reizen in der Sekunde, Nachtvögel von etwa 20 Reizen, Säuger von etwa 25, stehen also physiologisch den Nachttieren näher, was übrigens um so weniger zu verwundern ist, weil auch vergleichend anatomisch das Auge der höheren Säuger auf eine nächtliche Lebensweise hinweist. Die stetige Kurve der Netzhautströme bei einer gewissen Reizzahl findet eine Entsprechung in dem Stetigwerden der Empfindung, welches der Mensch bei 15, spätestens bei 50 Reizen in der Sekunde angibt.

Siehe auch meine Kurve Fig. 5. Bei einer Anzahl von Lichtreizen, welche die Verschmelzungsfrequenz noch nicht erreicht, merkt man deutlich die Oszillationen des Netzhautstromes und kein Ansteigen bzw. keine Summation der Belichtungsschwankungen.

Wie wirkt die Größe des leuchtenden Objektes, das zur Reizung des Auges dient? Diese Frage hat Ishihara beantwortet, indem er das Maximum der Helligkeitsschwankung an ein und demselben Auge verglich, je nachdem vor dem untersuchten Auge 1, 2, 3, 4, 5 oder 6 Lampen

aufleuchteten. Mit der Zahl der Lampen stieg im allgemeinen auch die Größe des Ausschlages, doch konnte man eine strenge Abhängigkeit nicht nachweisen. Die Größe der photoelektrischen Schwankung ist nicht annähernd proportional der Größe des leuchtenden Objektes.

Die Stärke (Intensität) des Reizlichtes kann aber von bedeutender Wirkung sein. Wir haben schon hervorgehoben, daß die früheren Forscher die Helligkeitsschwankung nicht gesehen haben, das dürfte wohl mit der Intensität ihrer Reizlichter zusammenhängen. Wenn aber die Intensität eine gewisse Größe erreicht hat, so daß eine deutliche Helligkeitsschwankung vorhanden ist, dann bringt die weitere Steigerung der Intensität fast keine Veränderung der Kurven zustande. Das berichten sowohl Ishihara als auch Einthoven und Jolly. Dewar und M'Kendrick haben zwar behauptet, daß das Weber-Fechnersche Gesetz gelte, wir wissen aber heute durch die Arbeiten von Waller, de Haas, Ishihara, Einthoven und Jolly, daß das Gesetz nicht gilt. Ich weise vor allem darauf hin, daß bei schwachen Reizen die Helligkeitsschwankung fehlt, bei stärkeren Reizen aber diese neu hinzutritt und wächst, während Änderungs-, Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung bei starken Reizen unverändert bleiben. Jolly gibt in seiner Arbeit einige genaue Tabellen hierüber.

Das leuchtende Objekt kann ruhen, es kann aber auch in Bewegung gesetzt werden. Wenn es sehr rasch bewegt wird, kann man nach dem früher Gesagten voraussetzen, daß das bewegte Objekt wirken wird, wie ein ruhendes bedeutend größeres Objekt.

Ishihara fand diesen Gedanken auch bestätigt.

Er ließ durch einen Spiegel ein Bild einer Lampe in das untersuchte Auge werfen und verglich die Kurve bei rotierendem Spiegel und bei ruhendem Spiegel. Die Belichtungs- und Helligkeitsschwankung ist bei der ersten Anordnung bedeutend größer als bei der zweiten, das Umgekehrte aber zeigt sich bei der Verdunkelungsschwankung; diese ist bei ruhendem Objekt viel größer als bei beweglichem. Siehe das Schema 16:

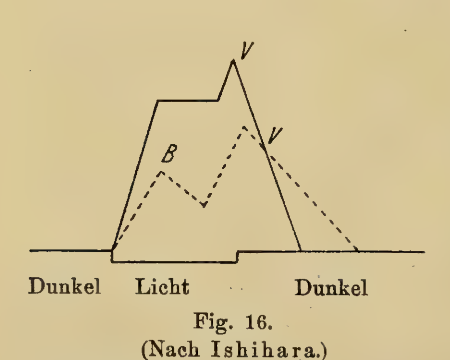


Fig. 16.
(Nach Ishihara.)
Ausgezogene Linie: Lichtreiz bewegt.
Gestrichelte Linie: Lichtreiz ruht.

Alle angewendeten Lichtreize blieben während der Dauer der Versuche, von denen bisher immer berichtet wurde, in ihrer Intensität konstant.

Kühne und Steiner haben schon versucht, den Lichtreiz einschleichen zu lassen, so daß man mit sehr geringen Lichtstärken beginnt und allmählich bis zur gewünschten Stärke steigert. Ebenso hat Ishihara mit Hilfe eines Rheostaten gefunden, daß bei einschleichendem Reiz — er begann mit 0·01 Normalkerze — die Belichtunsschwankung ausbleibt, hat aber nach 60″ bei Lichtstärke 7·2 N.-K. eine sehr deutliche Verdunkelungsschwankung bekommen. Wenn er aber mit der vollen Lichtstärke begann, allmählich aber bis auf 0·01 N.-K. herabstieg, so erhielt er eine deutlich kleinere Verdunkeluugsschwankung, so daß man die Regel aussprechen kann: Die Größe der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung ist eine Funktion der jeweils herrschenden Lichtstärke.

Wir haben bisher nur von Versuchen mit weißem Licht berichtet und wollen nun die Frage beantworten, ob die Netzhautstromkurve sich verändert, je nach den einzelnen Spektralfarben, die man als Reizlichter verwendet.

Die Frage kann man nicht schlechthin bejahen oder verneinen. Ishihara konnte zeigen, daß die Größe des Belichtungsausschlages verschieden ist, je nachdem man mit rotem oder grünem Licht reizt. Wenn man mit grünem Lichte reizt, ist die Schwankung größer als bei rotem Licht — natürlich sind beide Lichter zuvor photometrisch gleich hell gemacht worden, doch sind sie bolometrisch natürlich nicht gleich.

Wenn man zuerst mit grünem, dann mit rotem Licht reizt, bekommt man eine positive Schwankung, die ich als eine Art positiver Verdunkelungsschwankung deuten möchte, keine dagegen bei Übergang von Rot zu Grün. Jolly hat mit grünem und blauem Licht bestimmter Wellenlänge gearbeitet und auch keinen anderen Unterschied in den Kurven gefunden. Die positive Belichtungsschwankung ist im Grün speziell bei geringer Intensität das 4- und das 3-fache von der im Blau, bei größerer Intensität vermischen sich diese Unterschiede — ähnlich ist es auch bei der Helligkeitsschwankung. Es wären also eigentlich gar keine bemerkenswerten Unterschiede, wenn nicht zu jeder Wellenlänge eine bestimmte latente Periode zugeordnet wäre.

Da wir aber hierüber noch gar nicht gesprochen haben, so wollen wir diese zuerst einmal in den Kreis unserer Betrachtung ziehen.

2. Die latente Periode.

Beginnt die Netzhautstromkurve gleichzeitig mit der Belichtung oder vergeht eine gewisse Zeit, bis der Bestandstrom eine Änderung zeigt?

Der erste, der versuchte, mit Hilfe eines Rheotoms die Latenz des Netzhautstromes zu bestimmen, war S. Fuchs. Doch kam er zu solch niedrigen Werten, daß man annehmen muß, die Methodik sei unzureichend gewesen. Gotch gelang es dann, etwa 10 Jahre später, mit Hilfe des Kapillarelektrometers die Latenz der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung zu bestimmen. Diese Latenzzeit wird bei höherer Temperatur geringer.

Die Latenz der Belichtungsschwankung beträgt nach ihm durchschnittlich 0·2″, die der Verdunkelungsschwankung ist um 0·02″ kürzer — mit anderen Worten, die Verdunkelungsschwankung tritt etwas rascher ein, als die Belichtungsschwankung. Gotch hat nun gefunden, daß bei Reizung eines Froschauges mit verschiedenen Spektralfarben verschieden lange Latenzperioden der Belichtungsschwankung vorhergehen. Die kürzeste Latenzperiode geben Reize mit weißem und grünem Licht (0·16″ bis 0·23″). Mit rotem Licht die längste 0·3″, mit violettem Licht etwa 0·25″. Man kann daher sagen, die Latenz verschiedener homogener Lichter des Spektrums ist verschieden, am kürzesten im Grün, am längsten im Rot, auch gegen das Violett nimmt die Latenz langsam zu. Auf ein Koordinatensystem bezogen, würden wir etwa diese Kurve bekommen, wenn wir auf der Abszisse ein Spektrum und auf den Ordinaten gleichzeitig die Latenzzeiten auftragen.

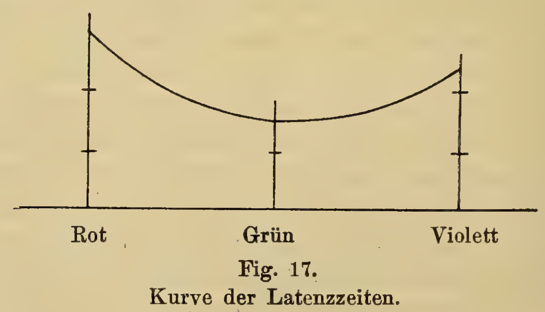


Fig. 17.
Kurve der Latenzzeiten.

Wie Einthoven und Jolly fanden, verkleinern sich die Latenzzeiten bei zunehmender Lichtstärke bis zu einem gewissen Grade, so daß man bei Kenntnis der angewandten Lichtintensität, wenn homogenes Licht als Reiz dient, prinzipiell von jeder Kurve sagen könnte, welche Farbe die als Reiz dienende Lichtquelle hatte.

Durch den Nachweis von Einthoven und Jolly, daß die Größe der atenten Periode im umgekehrten Verhältnis zu der Stärke des Reizlichtes steht ist müssig, die verschiedenen Werte, welche Piper, Einthoven, Jolly, v. Brücke, Garten, fanden, eingehend zu erörtern. Piper hat kürzere Werte als Gotch, v. Brücke und Garten bekommen,

Einthoven und Jolly geben Werte an, welche die von v. Brücke und Garten gefundenen einschließen.

Mit Hilfe des Saitengalvanometers ist es auch möglich geworden, die Latenzzeit der Änderungsschwankung zu bestimmen. Sie beträgt nach v. Brücke und Garten 0·078″ bis 0·099″ (Einthoven und Jolly). Piper fand sie nur halb so groß, 0·045″ und dürfte damit auch recht haben, denn es hat sich herausgestellt, daß, je frischer das untersuchte Auge ist, desto kleiner die latenten Perioden sind, man kommt so dem normalen Ablauf am nächsten.

Die Latenz der Belichtungsschwankung beträgt nach v. Brücke und Garten 0·108″ bis 0·244″. Piper gibt diese mit 0·07″ bis 0·136″ an.

Schließlich wurde auch die Latenz der Verdunkelungsschwankung genau bestimmt. Einthoven und Jolly geben sie mit 0·01″ bis 0·04″ an, bei sehr schwacher Belichtung kann sie den Wert 0·2″ erhalten. Hinzufügen will ich, daß die Lichtintensität bei der Latenzbestimmung der Belichtungsschwankung nicht beliebig vergrößert werden kann, weil bei Auftreten der negativen Änderungsschwankung von einer exakten Latenzbestimmung der Belichtungsschwankung keine Rede mehr sein kann; denn es wäre möglich, daß wir nur die Resultierenden der Änderungs- und Belichtungsschwankung untersuchten. Piper gibt die Latenz der positiven Verdunkelungsschwankung mit 0·031″ bis 0·093″ an.

Eine Bestimmung der Latenz der träge aufsteigenden Helligkeitsschwankung ist zurzeit unmöglich, weil ihr Beginn in die Belichtungsschwankung fällt und daher verdeckt ist. Waller, der mit einem trägen Thomsongalvanometer arbeitete, spricht von Latenzperioden von 3″, 5″ und 7″, die er aber selbst als unphysiologisch bezeichnet. Ich gebe hier eine Übersicht über die Angaben der Autoren:

Latenz der

	Änderungs-schwanknng	Belichtnngs-schwankung	Verdunkelungs-schwankung
Gotch	—	0·17″	0·15″
v. Brücke-Garten	0·078″	0·108″	—
Einthoven-Jolly	0·02″	0·24″	0·01—2″
Piper	0·03″	0·07″	0·031″

Frosch-Dunkelauge.

Wenn wir nun dieses Resultat überb icken, so fällt uns vor a em auf daß die Latenzperioden der Änderungs- und Verdunkelungsschwankung von gleicher Größe sind, daß die Latenz der Belichtungsschwankung ein

Vielfaches der beiden anderen Zeiten ist. Dies soll uns bei der Analyse des Stromverlaufes einen wertvollen Fingerzeig geben, der bisher von niemanden beachtet wurde, obwohl alle Forscher übereinstimmen, daß die Auffassung des Netzhautstromes als einer Resultierenden verschieden ablaufender Teilströme durch die verschiedenen Latenzzeiten der einzelnen Schwankungen gestützt werde. Hinzufügen will ich noch, daß auch an allen anderen untersuchten Tieren, also an Cephalopoden, Fischen, Urodelen, Reptilien, Vögeln und Säugern ähnliche Werte gefunden wurden, z. B. am Affen — Angabe nach Piper.

Latenz der Änderungsschwankung:	0·018 bis 0·02	Sek.
Latenz der Belichtungsschwankung:	0·038 ,, 0·047	,,
Latenz der Verdunkelungsschwankung:	0·024 ,, 0·034	,,

Es beweist dies nur von neuem, daß das Auge der Wirbeltiere, welches im großen und ganzen in seinem Sinnesepithel sehr einheitlich gebaut ist, auch physiologisch nur geringe Unterschiede zeigt, ja, daß sogar das Auge der Cephalopoden, dessen Stäbchen nicht so wie bei den Wirbeltieren vom Reize abgewandt, sondern den Lichtreizen zugewendet ist, eine ähnliche Aktionsstromkurve aufweisen, weil eben das Sinnesepithel überall die gleiche Funktion aufweist. So ist es gewiß auch merkwürdig, daß der Bestandstrom im Cephalopodenauge die umgekehrte Richtung, wie im Wirbeltierauge hat und wir werden später bei der Bestimmung der Schicht, in welcher sich der Netzhautstrom entwickeln dürfte, nochmals auf diese Tatsache hinweisen.

3. Zerlegung des Netzhautstromes in Teilströme.

Rein mathematisch ausgedrückt, läßt sich jede Kurve als die Resultierende mehrere Kräfte auffassen und es ist lediglich eine Frage der Brauchbarkeit und der Wahrscheinlichkeit, wieviel hypothetische Vektoren man zu diesen Zwecke einführt. Wir wollen daher diesen Gesichtspunkt bei der Analyse der Netzhautstromkurve nicht aus dem Auge verlieren, erst aber die Frage beantworten:

Können wir aus der Netzhautstromkurve selbst irgendwelche Anhaltspunkte gewinnen, daß verschiedene Prozesse sich abspielen, wodurch verschiedene elektrische Teilströme erzeugt werden, die sich dann in ihrer Wirkung summieren?

Ich glaube diese Frage bejahen zu können und will zuerst einmal historisch darüber berichten. Schon Kühne und Steiner haben die Frage erörtert, ob nicht in der Netzhautstromkurve sich die Tätigkeit der Stäbchen und Zapfen ersehen ließe, konnten aber damals diese Frage nicht beantworten.

Dagegen hat Waller die Meinung vertreten, daß die Aktionsstromkurve durch die Übereinanderlagerung zweier verschiedener Prozesse entstünde, eines anabolischen und eines katabolischen, indem er von rein theoretischen Erwägungen über den Lebensvorgang ausging, dessen Hauptphasen Assimilation und Dissimilation anabolische und katabolische Tätigkeit sind. So betrachtete er die positive Verdunkelungsschwankung als die Summe zweier Komponenten. Der Unterbrechung einer negativen und des Beginnes einer positiven Komponente. Man sieht, daß in diesem Falle da Studium der zeitlichen Beziehungen durch so eine Erklärung ausgeschlossen wird. Waller unterscheidet nicht die positive Helligkeitsschwankung, um nicht gezwungen zu sein, einen dritten Prozess anzunehmen, obwohl bei der Analyse der Netzhautstromkurve diese langsam aufsteigende Schwankung mit breitem Gipfel sich jedenfalls als ein Vorgang eigener Art darstellt.

Eine ähnliche Vorstellung hat Gotch entwickelt, welcher annimmt, daß im Auge zwei verschiedene Substanzen vorhanden sind, eine, welche auf Licht, eine andere, welche auf Dunkelheit reagiert. Er macht aufmerksam, daß die positive Verdunkelungs- und Belichtungsschwankung niemals die Äußerungen einer und derselben chemischen Veränderung sein können, weil die Latenzzeiten bei der Reaktion voneinander deutlich verschieden sind.

Diesen Gedanken werden wir später als einen fruchtbringenden nochmals aufgreifen. Zwar hat er die Meinung, daß die latente Periode der Verdunkelungsschwankung von vollkommener Beständigkeit sei, eine Meinung, welche sich später nach den Untersuchungen von Einthoven und Jolly nicht bestätigt hat, aber dadurch wird seiner Hypothese kein Abbruch getan. Alle Veränderungen in diesen chemischen Substanzen sind nach ihm monophasisch, d. h. die Abnahme bei einer Schwankung stellt nicht den Ausdruck eines entgegengesetzt gerichteten photoelektrischen Prozesses dar, sondern gehört zur Natur derselben Substanz. So stellt er die negative Veränderungsschwankung und die positive Verdunkelungsschwankung als Wirkung der Dunkelsubstanz hin, welche auf Belichtung in ihrer Tätigkeit gehemmt wird und bei Verdunkelung in ihrer Tätigkeit gefördert wird — die positive Belichtungsschwankung hingegen als Ausdruck der Förderung der Lichtsubstanz. Jedoch fehlt uns hier ein deutliches Zeichen der Hemmung der Lichtsubstanz durch Dunkel, es sei denn, daß man das langsame und träge Absinken der Belichtungsschwankung für diesen Prozeß in Anspruch nehmen würde. Eine Erklärung, die meiner Ansicht nach ziemlich gezwungen wäre. Gotch gibt übrigens auch an, bei längerer Belichtung eine Serie von Perturbationen oder Oszillationen in der Netzhautstromkurve gesehen zu haben und wollte diese auf eine

antagonistische Beeinflussung beider Substanzen beziehen, so hätte einen Moment die eine Lichtsubstanz die Oberhand — es entstünde eine positive Stufe — und dann die gehemmte Dunkelsubstanz das Übergewicht — und es entstünde eine negative Stufe. Doch waren Brücke und Garten, die gerade auf diesen Punkt ihr Augenmerk richteten, nicht imstande, solche Oszillationen nachzuweisen und ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich die Meinung äußere, daß diese Oszillationen durch den Einbruch irgendwelcher fremder elektrischer Ströme hervorgerufen wurden.

Weitaus exakter haben Einthofen und Jolly die Zerlegung des Aktionsstroms in verschiedene Teilströme versucht. Obwohl sie gerade an gewissen entscheidenden Stellen es an der nötigen Deutlichkeit vermissen lassen, so daß es möglich ist, daß Piper in einer Darstellung ihres Gedankenganges ihnen eine Meinung zuschreibt, die sie, wie ich glaube, nicht als die ihre anerkennen würden. Piper stellt es nämlich so dar, als ob sie der Meinung wären, daß die Netzhautstromkurve drei Prozesse in sich schließe, welche während der ganzen Dauer der Belichtung sich abspielen würden, jeder Prozeß würde sich auf eine eigene Substanz beziehen, es wäre eine positive Stromkurve der Ausdruck einer Substanz, welche auf die Belichtung reagiert. Eine zweite negative, welche bei der Belichtung langsam absinkend, bei der Verdunkelung zur Abszisse zurückkehrte und drittens eine Substanz, welche für die reine träg ansteigende und absinkende Helligkeitskurve verantwortlich wäre. Auf diese Weise gelangt Piper zu einer Kurvenform, welche es in Wirklichkeit gar nicht gibt und er hat dann leicht, aus diesem Grunde die Ansicht Einthovens und Jollys zurückzuweisen. Zum Schlusse der Darstellung gibt er aber zu, daß er möglicherweise die Hypothese von Einthoven und Jolly falsch verstanden hätte und daß ihre Meinung eine andere sei. Diese will ich jetzt vortragen. Gewiß sprechen Einthoven und Jolly auch von drei verschiedenen Substanzen. Allein die beiden ersten Substanzen beteiligen sich nur bei Beginn und bei Beendigung der Belichtung an der Kurve. Nur die dritte Substanz würde während der dauernden Belichtung in Tätigkeit geraten.

Die erste Substanz wirkt am schnellsten, sie hat die kürzeste Latenzperiode und bewirkt in einem Dunkelauge die negative Änderungsschwankung bei Belichtung und in einem Lichtauge eine steile Verdunkelungsschwankung. Will man diese Ausschläge deutlich bekommen, so muß man, um den Charakter des Lichtauges nicht zu verändern, nur mit sehr kurzen Verdunkelungsreizen arbeiten und in einem Lichtauge mit sehr starkem weißen Licht reizen, um eine deutliche Änderungsschwankung zu erzielen. Auf diese Weise gelingt es, bei einem Lichtauge eine größere

Änderungsschwankung als Belichtungsschwankung zu erzielen, obwohl wir sonst das gerade Gegenteil zu sehen gewohnt sind. Ein Schema mag dies Verhalten verdeutlichen:

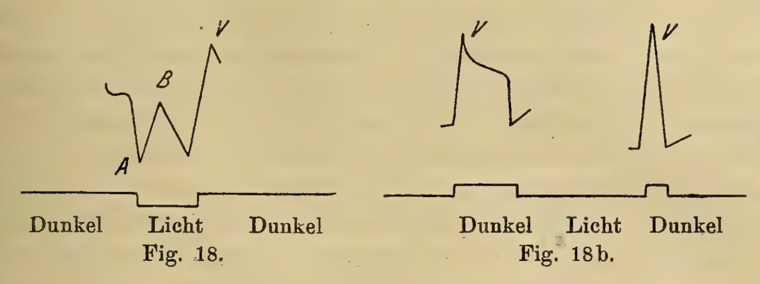


Fig. 18. Fig. 18b.

Einthoven und Jolly meinen, bei ganz kurzen Verdunkelungsreizen, welche von sehr starken kurzen Lichtreizen gefolgt sind, die Reaktionsweise der ersten Substanz rein zum Ausdruck zu bringen. (Schema b). Die zweite Substanz wirkt weniger rasch als die erste, sie ist Ursache der positiven Belichtungsschwankung und verliert bei Verdunkelung langsaman elektromotorischer Kraft. Sie entwickelt Potentialdifferenzen, welche entgegengesetzt sind denen der ersten Substanz, und hat ihre eigene wohl charakterisierte Latenzperiode. Am deutlichsten wirkt sie bei einem Dunkelauge, welches für kurze Zeit durch mäßiges Licht beleuchtet wird. In diesem Falle erscheint sie fast isoliert in einer einfachen Belichtungsschwankung. Siehe Fig. 19.

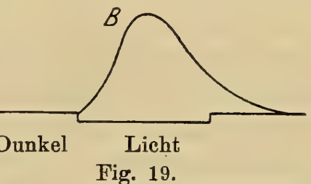


Fig. 19.

Wenn die Intensität der Beleuchtung gesteigert wird, nimmt ihre elektromotorische Kraft zu, wir erhalten eine höhere Belichtungsschwankung, aber wir bekommen auch schon Andeutungen der anderen Schwankungen. Wieder gebe ich ein Schema:

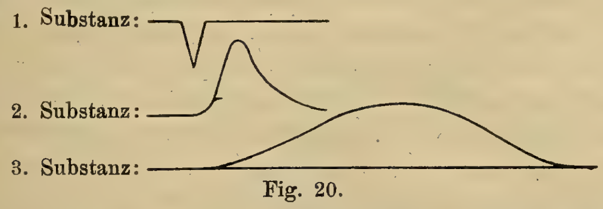


Fig. 20.

Schließlich wirkt die dritte Substanz in derselben Richtung wie die zweite, nur noch langsamer. Sie ist charakerisiert durch eine Kurve von sanftem Aufstieg und Abfall mit einem breiten Gipfel. Wir können ihre Wirkung am deutlichsten an einem Dunkelauge sehen, welches für wenige Sekunden mäßiger oder starker Belichtung ausgesetzt wird. Ihre

Wirkung fällt aus, bei einem vollständigen Hellauge und bei einem Dunkelauge, welches durch sehr schwaches Licht gereizt wird.

Eine Latenzperiode der dritten Substanz kann nicht bestimmt werden. Wir sehen, daß bei der Bestimmung der beiden ersten Substanzen neben den sichtbaren Zacken der Nezthautstromkurve, auf welche die eine oder die andere bezogen wurde, vor allem die Latenzperiode eine wichtige Rolle spielt und daß die beiden Forscher versuchen, die alleinige Wirkung jeder einzelnen Substanz uns vor Augen zu führen.

Anders Piper. Obwohl er und auch Trendelenburg ausdrücklich die Wichtigkeit der latenten Periode bei der Analyse der Kurve hervorhebt, werde ich zeigen können, daß gerade bei ihnen die latente Periode jede tifere Bedeutung verliert.

Er geht, wie Trendelenburg lobend hervorhebt, von dem Aktionsstrom des Cephalopodenauges aus. Dieses hat bekanntlich eine sehr einfach gebaute Netzhaut — die Ganglienzellschicht liegt außerhalb der Retina — und nur einerlei Elemente des Sinnesepithels — eine Art Stäbchen. Bei Belichtung steigt der Aktionsstrom langsam an, bleibt auf der erreichten Höhe und fällt bei Verdunkelung wieder ab. Piper macht diesen Stromverlauf zum Urbild der elektromotorischen Wirkung einer jeden einfachen Netzhautsubstanz. Er unterscheidet deren drei (Fig. 21). Die erste, deren Kurvenanstieg dem Steilanstieg der Belichtungsschwankung entspricht, dann parallel der Abszissenachse während der Belichtung weiterwirkt, nach der Belichtung etwas sanfter abfällt. Dieser ersten Kurve schreibt er die latente Periode der Belichtungsschwankung zu. Mit einer kleineren Latenz beginnt die Wirkung der zweiten Substanz, der zweite Teilstrom, welcher für sich betrachtet, ein sanftes negatives Absinken der Kurve unter die Abszissenachse die zur Folge hat, während der weiteren Belichtung dann parallel zur Abszissenachse die Saite bewegen würde und bei Verdunkelung dann ziemlich steil zur Abszissenachse zurückkehrt. Diese beiden Teilströme würden, übereinander gelegt, eine Kurve geben, welche der Aktionsstromkurve eines gut helladaptierten Auges entsprechen würde. Wir haben derart eine negative Veränderungsschwankung, eine positive Belichtungsschwankung, ein Konstantbleiben des Stromes während der Belichtung und eine positive Verdunkelungsschwankung, die nichts anderes sind, als das Interferenzergebnis beider Teilströme. Die Latenz der Änderungsschwankung kann ohne weiteres verändert werden durch ein steileres Absinken des zweiten Teilstromes oder ein sanfteres Aufsteigen des ersten Teilstromes. Ebenso die Latenz jedes anderen Kurvengipfels, die dann nichts Charakteristisches dieser bestimmten Schwankung ausdrücken würde. Ein dritter Teilstrom mit viel größerer Latenz und

sanftem Aufstieg und Abfall kommt dann dazu, er entspricht ganz der dritten Substanz Einthovens und Jollys und ist die Ursache für die Helligkeitsschwankung. Der Unterschied zwischen den Substanzen Pipers einerseits und Einthoven und Jollys andererseits ist der, daß Pipers hypothetische Netzhautsubstanzen einen einfachen Teilstrom verursachen, welcher aufsteigt, während der der Belichtung konstant bleibt und bei Verdunkelung absinkt, eine Vorstellung, die manches für sich hat, wogegen Einthoven und Jolly imstande sind, ihre Teilströme als Ausdruck der Tätigkeit der von ihnen postulierten Netzhautstromsubstanzen rein in den Aktionsstromkurven selbst aufzuzeigen, dafür aber wenigstens von der ersten Substanz einen komplizierteren Ablauf voraussetzen müssen. Ich gebe hier ein Schema der drei Teilströme Pipers.

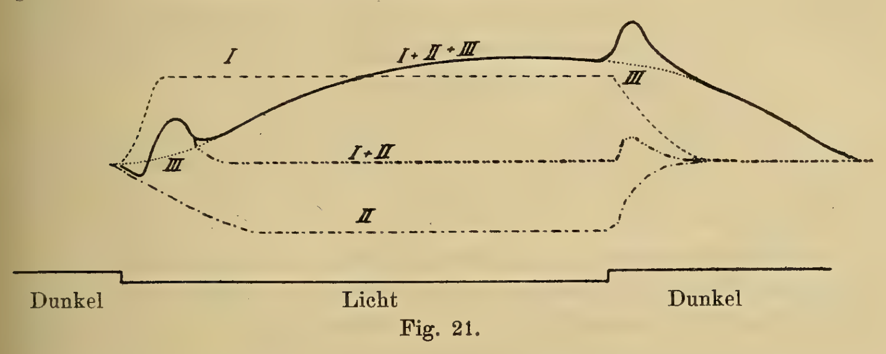


Fig. 21.

Gegen die Anschauung Pipers spricht, daß bei Reizung eines Dunkelauges durch Licht zwar eine negative Änderungsschwankung und eine positive Belichtungsschwankung eintritt, dagegen eine positive Verdunkelungsschwankung bei mäßigen Lichtreizen nicht eintritt, siehe Schema Fig. 14, obwohl nach seiner Vorstellung die erste Substanz wirksam wäre und eine positive Verdunkelungsschwankung erzeugen müßte. Ferner ist für Pipers Anschauung bezeichnend, daß Zacken der Netzhautstromkurve Interferenzerscheinungen sind, die in Wirklichkeit gar nichts Charakteristisches haben und ich habe den Eindruck, daß sich seine hypothetischen Teilströme dadurch noch mehr von der wirklich beobachteten Kurve entfernen.

Man muß aber zugeben, daß sowohl die Hypothese Einthovens und Jollys, als auch die Pipers imstande ist, die vorhandenen Resultate auf relativ einfache Grundprozesse zurückzuführen.

4. Die chemische Beeinflussung der Netzhautströme.

Wenn ich nun daran gehe, die chemische Beeinflussung der Netzhautströme zu schildern, so will ich hervorheben, daß die vereinzelten Forscher

welche diese Versuche anstellten, nicht von einem einheitlichen Gesichtspunkte dabei ausgingen. Holmgren z. B. wollte zeigen, daß der Sehpurpur nichts mit dem Aktionsstrome zu tun habe. Zu diesem Behufe legte er purpurhaltige Augen vom Kaninchen und Frosch in Alaun und weil von diesen abgetöteten Augen, deren Retina noch rot gefärbt war, keine Aktionsströme zu erhalten waren, glaubte er den Schluß ziehen zu können, daß der Sehpurpur mit dem Netzhautstrom nichts zu tun habe.

Eine Kritik dieser Meinung ist nicht notwendig. — Kühne und Steiner wollten die Widerstandsfähigkeit der isolierten Retina gegen Gewebsgifte prüfen und fanden, daß eine halbprozentige Kaliumchloridlösung, tropfenweise der Retina zugesetzt, diese in 5 bis 10 Minuten lichtunempfindlich macht, daß ebenso Chloroform wirkt — wie es angewendet wurde, ist aus ihren Angaben nicht zu ersehen —, wenn man aber die reaktionslose chloroformierte Retina 2 Stunden in reiner feuchter Luft liegen ließe, so kehrte die Lichtempfindlichkeit wieder.

Auch Pilokarpin und salizylsaures Natron erwiesen sich als wirksam. Allerdings wurden außerordentlich große Mengen zugesetzt, 0·1 g Pilokarpin muriat oder 0·5 g salizylsaures Natrium; Atropin dagegen erwies sich als unwirksam.

v. Brücke und Garten wiederum wollten entscheiden, ob die Abnahme der Belichtungsschwankung bei wiederholter Belichtung auf einer Erschöpfung der lichtempfindlichen Elemente beruhe, oder ob während der Erregung sich vielleicht Kohlensäure oder andere Produkte des Stoffwechsels ansammeln, welche die photoelektrische Reaktion hemmten.

Zu diesem Zwecke brachten sie einzelne hintere Bulbushälften von Fröschen in eine Kammer, in welche ein Kohlensäurestrom geleitet wurde und konnten sehr deutlich zeigen, daß bei Einwirkung der Kohlensäure während einiger Minuten der Belichtungs- und Verdunkelungsausschlag gleichmäßig abnimmt; wenn das Auge dann aber durch 10 Minuten wieder der Luft ausgesetzt wird, so steigen Belichtungs- und Verdunkelungsausschlag ziemlich gleichmäßig wieder an. Trotzdem also tatsächlich durch die Kohlensäure die photoelektrische Reaktion ziemlich rasch gehemmt wird, vermeinen die beiden Forscher, daß wärend der Tätigkeit der lichtempfindlichen Elemente Kohlensäure nicht in einer derartigen Konzentration gebildet würde, so daß sie ausreichen könnte, diese Elemente zu hemmen und nehmen schließlich trotz der nachgewiesenen Wirkung der Kohlensäure dennoch an, daß die lichtempfindlichen Elemente ermüden.

Außerdem hat noch Waller angegeben, daß Kohlensäure, Chloroform und Äther auch am uneröffneten Bulbus wirksam sind und daß speziell die Kohlensäure merkwürdigerweise zuerst eine Abnahme, dann eine Ver-

stärkung der Lichtreaktion hervorrufe. Diese Verstärkung konnten v. Brücke und Garten nicht nachweisen.

5. Deutung des Aktionsstromes.

Wir sprachen früher die ganze Zeit von Substanzen und Teilströmen, welche der Ausdruck der Tätigkeit dieser Netzhautsubstanzen seien und müssen uns aber gestehen, daß wir von diesen Substanzen gar nichts wissen. Daß sie vielmehr Annahmen sind, um der Zerlegung des Netzhautstromes in Teilströme eine bildhafte Unterlage zu geben und glauben nicht fehlzugehen, wenn wir annehmen, daß diese Substanzen oder Sehstoffe bewußt oder unbewußt auf Grund der Heringschen Theorie postuliert wurden. Überlegen wir uns aber unbefangen, was für Prozesse in dem Auge während der Belichtung vor sich gehen könnten, so müssen wir sagen, daß die elektrischen Ströme der Ausdruck sein könnten einer Sinnestätigkeit der lichtempfindlichen Elemente, also der Stäbchen und Zapfen. Ferner der Ganglienzellen, der gereizten Opticusfasern, der Verscheibung des Pigmentepithels, der Verlängerung der Stäbchen und Zapfen, der Zersetzung des Sehpurpurs, schließlich der Irisbewegung. Schon Kühne und Steiner, in deren Arbeit wirklich eine unerschöpfliche Anregung gefunden wird, und Holmgren haben versucht, wenigstens einige dieser Fragen zu beantworten. Deshalb arbeiteten sie nur zum Teil am uneröffneten Bulbus, sehr oft aber am eröffneten Bulbus, an welchem der vordere Teil des Auges, nähmlich Cornea, Iris, Linse und Ciliarkörper entfernt worden war. Wie wir schon früher hervorgehoben, verändern sich die Netzhautströme an einem solchen Präparat eigentlich nicht. Nichtsdestoweniger hat noch Piper fast 30 Jahre später, vielleicht in Unkenntnis dieser Untersuchungen behaupten können, daß unsere Helligkeitsschwankung der Ausdruck der Iriskontraktion sei, weil er an einem atropinisierten Säugerauge diese Helligkeitsschwankung vermißte. v. Brücke und Garten konnten aber zeigen, daß auch am atropinisierten Säugetier (Katze) die Helligkeitsschwankung auftritt und mithin ist der Hypothese Pipers der Boden ein für allemal entzogen; die Iriskontraktion ist nicht Ursache irgendeiner elektromotorischen Schwankung während der Belichtung. Kühne und Steiner gaben sich aber nicht zufrieden, den Stromverlauf an der isolierten Retina festzustellen, sondern versuchten auch, die Retina in ihre einzelnen Schichten zu zerlegen, und von den isolierten Schichten Aktionsströme zu erhalten.

Die beiden Forscher versuchten in der Froschretina einen solchen Nachweis zu führen, indem sie Netzhäute in der Zone der Zwischen-

körnerschicht spalteten durch Pressung der Retina zwischen zwei Seidenpapieren, von der man das eine Seidenpapier dann wie ein Abzugpflaster herunterzog. Dieses eine Papier enthielt dann Sehpurpur und Stäbchenaußenglieder, das andere die Zapfen, Ganglien- und Nervenfaserschicht. Die zwischen den beiden Seidenpapieren liegende Retina ergab, obwohl gepreßt dennoch eine deutliche photoelektrische Schwankung. Die isolierten Stäbchenaußenglieder mit dem Sehpurpur dagegen keine. Kühne und Steiner aber gingen noch weiter, sie versuchten, Stäbchen und Zapfen voneinander zu isolieren und waren es tatsächlich imstande, indem sie das Pigmentepithel von der Retina abzogen, so daß die abgerissenen Fortsätze der Pigmentzellen, mit Fuscin gefüllt, die Zapfen noch bedeckten und so den Zugang des Lichtes zu den Zapfen hinderten, während die Stäbchenendglieder frei herausschauten. Sie konnten jedenfalls nachweisen, obwohl diese Versuche infolge der großen Schwierigkeiten der Präparation nur selten den Anforderungen ganz entsprachen, daß die Stäbchen ohne die Zapfen imstande sind, photoelektrische Schwankungen zu erzeugen; doch waren sie leider nicht imstande, den Teilstrom der Stäbchen rein darzustellen. Niemand hat es bisher versucht, mit den neuen Instrumenten diese Versuche zu wiederholen und es besteht kein Zweifel, daß die Frage der Stäbchen und Zapfen durch eine derartige Neuuntersuchung sehr gefördert werden könnte.

Ferner suchten die beiden Forscher nach einer Netzhaut, von welcher man behaupten könnte, daß die verschiedenen Schichten verschieden lang überlebten; wenn dann entweder die ganze photoelektrische Reaktion erhalten bliebe und man mit Sicherheit annehmen könnte, daß nur noch eine Schicht der Retina lebendig wäre, so könnte man den ganzen Netzhautstrom auf diese Schicht beziehen. Kühne und Steiner haben nun gefunden, daß die isolierte Taubennetzhaut noch $^3/_4$ Stunden nach dem Herauspräparieren die normale photoelektrische Reaktion zeigte und nahmen daher an, daß nach $^3/_4$ Stunden die Ganglienzellen und Nervenfaserschicht der Retina abgestorben sei, denn damals glaubte man, daß jede Ganglienzelle nach kurzer Zeit ersticken müßte. Wir werden diesem Versuch zwar nicht unbedingte Beweiskraft zuschreiben, aber doch zugeben, daß die Wahrscheinlichkeit sehr für die Annahme der beiden Forscher spricht. Es käme sonach nur die eigentliche Sinnesepithelschicht für die Entstehung der Netzhautströme in Betracht.

Auch Pipers neuere Untersuchungen gehen dahin, daß die elektrischen Vorgänge vor allem in der Schicht der Stäbchen und Zapfen ihren Ursprung hätten, außer der Helligkeitsschwankung, weil er, wie ich schon erwähnte, für die Helligkeitsschwankung zuerst die Iriskontraktion, sodann

den Adaptationsvorgang verantwortlich macht. Auf die Frage, warum aber gerade bei Hellaugen und starken Lichtreizen diese Schwankung fehlt, konnte man auf dem Boden dieser Hypothese keine Antwort finden. Eine Anzahl anderer Forscher will aber von dieser Einschränkung des Netzhautstromes auf bestimmte Schichten nichts wissen. Engelmann z. B. meint, daß sämtliche Schichten der Retina an der Entstehung des Netzhautstromes beteiligt seien, allerdings versucht er gar nicht seine Meinung zu begründen. Auch Gotch vertritt ganz allgemein den Standpunkt, daß die Retinaströme im hinteren Abschnitt des Augapfels entstünden, sowohl in der Retina als auch in der Pigmentepithelschicht, ohne tiefer in das Problem einzudringen. Waller, welcher berichtet, daß photoelektrische Schwankungen noch im Auge beobachtet werden, dessen Retina durch Induktionsschläge zerstört worden ist, glaubt, daß die Pigmentschicht des Auges Ursprungsstätte der Netzhautströme ist. Ich begreife dann erst recht nicht, daß Waller trotz dieser Anschauung bemüht ist, den Netzhautstrom in einem anabolischen und katabolischen Teilstrom aufzulösen, wobei die anabolische und katabolische Tätigkeit bei Lichtreiz doch jedenfalls vor allem auf die Tätigkeit der Sinnesepithelschicht zu beziehen ist. In anderer Weise versuchte eine Gruppe von Forschern festzustellen, in welchen Schichten der Augen der Aktionsstrom entsteht. Holmgren durchschnitt an einem Kaninchenauge den Nervus opticus und fand, daß das elektromotorische Verhalten der Augen dieser Tiere trotzdem normal geblieben war. Gesetzt den Fall, daß er bei der histologischen Untersuchung eine Degeneration der Stäbchen und Zapfenschicht gefunden hätte, dann wäre die Annahme wohl begründet, daß der Netzhautstrom nicht in der Stäbchen- und Zapfenschicht seinen Ursprung hätte. Hamburger, welcher den Nervus opticus von Fröschen und Kaninchen unblutig von der Mundhöhle aus durchschnitten hat, fand an der Netzhaut selbst nicht die kleinste histologische Veränderung. Die photomechanischen Prozesse, also Umlagerung des Pigments und Adaptationsvorgang, hatten infolge der Durchschneidung nicht gelitten. Ishihara durchschnitt bei Fröschen intrakraniell den Nervus opticus und fand 2 bis 6 Monate hernach das photoelektrische Verhalten der Augen vollkommen normal, war aber auch bei der histologischen Nachuntersuchung nicht imstande, irgendwelche Veränderungen an der Retina nachzuweisen. Wir sehen also, daß dieser Weg auch nicht gangbar ist, weil die Degeneration der Opticusfasern nur zentralwärts nicht aber peripheriewärts fortschreitet und es daher nicht gelingt, eine Schicht der Retina, wir denken natürlich zuerst an die Nervenfaserschicht, auszuschalten. Ein anderer Weg wäre der vergleichend-physiologische. Ich glaube zwar nicht,

daß Kühne und Steiner, die zuerst solche Versuche anstellten, schon die Frage der Deutung des Retinastromes damit beantworten wollten, ebensowenig wie v. Brücke und Garten, welche vor allem den Ablauf des Retinastromes bei verschiedenen Tieren beschreiben wollten. Uns aber sei es hier gestattet, aus den Ergebnissen dieser Forscher die Schlüsse zu ziehen und vielleicht eine oder die andere Frage zu beantworten.

Schon die Richtung des Bestandstromes gibt uns einen Fingerzeig über den Ursprung dieses Stromes. Wie bekannt, geben die verschiedensten Epithelien auch in ihrer Ruhe ihre Lebenstätigkeit zu erkennen durch elektrische Potentiadifferenzen, so zwar, daß die Basis der Zelle positiv geladen ist im Vergleiche zu der z. B. in ein Lumen ragenden Oberfläche. Im Auge der Wirbeltiere ist die Richtung des Bestandstromes eine derartige, als ob ein freies Epithel mit starken Spannungsdifferenzen sich im Auge befinde, dessen Basis in das Innere des Auges gerichtet sei und dessen Oberfläche skleralwärts schaute. Wir werden nicht fehlgehen, die Schicht der Stäbchen und Zapfen als dieses Epithel anzusprechen. Tatsächlich verläuft der Bestandstrom im äußeren Stromkreis von der Cornea zur Sklera, wie er auch nach den vergleichend elektrophysiologischen Erwägungen verlaufen müßte. Als nun Piper das Auge eines Cephalopoden (Eledone moschata) untersuchte, fand er die Richtung des Bestandstromes umgekehrt. Die gegenteilige Angabe Becks, der vor ihm auch dasselbe Objekt untersuchte, erwies sich als Irrtum. Nun wissen wir schon lange, daß die Stäbchen der Cephalopodenretina mit ihrem freien Ende gegen das Augeninnere gerichtet sind, also gerade entgegengesetzt gerichtet sind wie die Stäbchen der Wirbeltiernetzhaut.

Der Bestandstrom hat mithin nur scheinbar die umgekehrte Richtung, denn die Sinnesepithelschicht der Cephalopodenretina ist ja auch um 180° gedreht. Es wird also die Wahrscheinlichkeit um so größer, daß der Bestandstrom, der nach der Lage der lichtempfindlichen Elemente seine Richtung wechselt, im wesentlichen von dieser Schicht ausgeht. Außerdem fehlt in der Cephalopodennetzhaut die Ganglienzellenschicht; sie liegt in einem besonderen Ganglion außerhalb des Auges. Trotzdem ist der Bestandstrom vorhanden, wir schließen daraus, daß die Ganglienzellenschicht auch bei dem Wirbeltierauge mit der Entstehung des Bestandstromes nichts Wesentliches zu tun habe. Schließlich glauben wir in Übereinstimmung mit Kühne und Steiner damit auch erklären zu können, warum der Bestandstrom einer absterbenden Wirbeltiernetzhaut die Richtung wechselt. Die empfindlichste Schicht in der Retina dürfte wohl die Ganglienzellenschicht sein. Wenn diese zuerst abstirbt, liegen die Stäbchen und Zäpfchen mit ihrer Basis an den absterbenden Ganglien, welche

eine Art chemischen Querschnitt darstellen würden, dieser ist stärker negativ als die normale polare Spannung zwischen Basis und Endglied von Stäbchen und Zapfen, der Bestandstrom muß die Richtung wechseln. Auch das Gesetz von Kühne und Steiner von der konstanten Spannungsänderung will ich heranziehen, um den Beweis vorläufig zu Ende zu führen, daß die Retinaströme ihren Ursprung in der Sinnesepithelschicht nehmen. Dieses Gesetz besagt, daß die Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung gleiche Richtung behalten, auch wenn der Bestandstrom seine Richtung ändert oder, anders ausdrückt, die Retinastromkurve bleibt immer gleich, nur die Abszissenachse muß paralell zu sich selbst verschoben werden. Wären an den Netzhautströmen andere Schichten als die Stäbchen- und Zapfenschicht beteiligt, so würde bei der Veränderung des Bestandstromes, welche doch sicherlich durch Veränderung in den Netzhautschichten zustande kommt, auch eine Veränderung der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung eintreten; da diese aber nicht eintritt, so ist an dem Zustandekommen der Netzhautströme nur die Stäbchen- und Zapfenschicht beteiligt. Ich werde dann später noch zeigen, daß dieser Satz auch durch meine Experimente gestützt wird.

Trotzdem im Cephalopodenauge nur Stäbchen vorhanden sind, wollen wir doch diese Gebilde nicht den Stäbchen der Wirbeltierretina gleichsetzen, denn es kann sehr wohl zutreffen, daß die Stäbchen der Cephalopodennetzhaut die Funktionen der Stäbchen und Zapfen der Wirbeltierretina ausüben. Es ist immerhin verlockend, darauf hinzuweisen, daß diese reine Stäbchennetzhaut nur eine positive Belichtungsschwankung zeigt, während der Belichtung läuft der Aktionsstrom der Abszisse fast parallel, und nach der Belichtung sinkt er ohne besondere Schwankung ab. Ich möchte fast sagen, leider, verläuft der Netzhautstrom bei dem nur zapfenhaltigen Auge der Schildkröte nicht dementsprechend einfach, denn dann hätten wir hier eine Zapfenkurve, dort eine Stäbchenkurve und wären dann imstande, den komplizierten Netzhautstrom auf zwei Teilströme, einen Stäbchen- und einen Zapfenstrom zu beziehen. Am Netzhautstrom des zapfenhaltigen Schildkrötenauges können wir eine einfache Belichtungs- und eine Verdunkelungsschwankung feststellen; es fehlt dagegen die Helligkeitsschwankung. Der Aktionsstrom des Schildkrötenauges ist mithin in seinem Verlaufe sehr ähnlich dem des helladaptierten Froschauges und ich werde in meinem Versuch, den Aktionsstrom zu deuten, gerade darauf nochmals zurückkommen. Piper hat versucht, den Netzhautstrom der Stäbchen- und Zapfenvögel miteinander zu vergleichen und auf diese Weise vielleicht den Teilstrom der Zapfen und den der Stäbchen isoliert darzustellen. Bekanntlich haben die Tagvögel, wie

Hühner und Tauben, eine Sinnesepithelschicht, in der die Zapfen, die Nachtvögel, wie z. B. Eule und Kautz, eine solche, in der die Stäbchen überwiegen. Während die Retinaströme der Taube und des Mäusebussard nur eine schwache Belichtungs- und eine Verdunkelungsschwankung aufweisen, zeichnen sich die Netzhautströme der Nachtvögel durch kräftige Schwankungen aus. Wir unterscheiden nach den Untersuchungen von v. Brücke und Garten nicht nur eine deutliche Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung, sondern auch eine hohe Helligkeitsschwankung.

Ich gebe ein Schema nach den Kurven von v. Brücke und Garten:

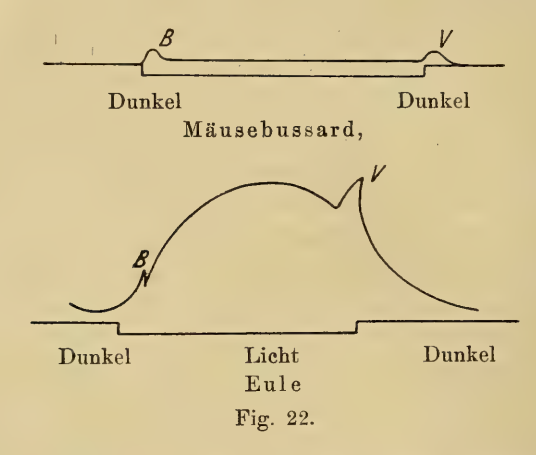


Fig. 22.

Auch hier sind wir also nicht imstande, durch Vergleichung die hypothetischen Teilströme zu isolieren. Piper, der sich am eingehendsten gerade mit dieser Frage beschäftigt hat, kommt zu dem Schlusse, daß eine Isolierung der Teilströme auf vergleichend physiologischem Wege nicht möglich sei.

Einige andere Tatsachen bestärken ihn in der Meinung, daß die Zapfen der Retina Ursache des einen und zwar des negativen Teilstroms seien. Der eine positive Teilstrom hätte die längere Latenz und würde dadurch besser der relativen Trägheit der Stäbchen entsprechen, während der negative Teilstrom die Tätigkeit der Zapfen darstellen würde. Als Beweis dafür führt er an, daß bei Reizung eines Hellauges mit starken Lichtblitzen nur eine negative Schwankung auftrete — das wäre der Typus der Zapfentätigkeit.

Nun ist aber das Argument unrichtig, weil ein solches Hellauge auf solche Reize nicht nur mit einer negativen Änderungsschwankung, sondern auch mit einer positiven Belichtungsschwankung antwortet. — Ich verweise auf Schema Fig. 18a.

Haben wir aber außerdem noch aus der Analyse der Netzhautströme Beweise dafür, daß Stäbchen- und Zapfennetzhaut auf verschie-

dene Bedingungen des Sehens eingestellt sind, erstere auf die Bedingung des Dunkelsehens, letztere auf die des Hellsehens.

Diese Frage kann man nach den Untersuchungen Himstedts, Nagels, Pipers und Trendelenburgs bejahend beantworten; die beiden ersten Forscher haben eine neue Methode eingeführt, um die Frage zu beantworten. Sie haben die Höhe des Nezthautstromes, d. h. seine Erhebung über die Abszissenachse, bei Licht verschiedener Wellenlänge gemessen und gefunden, daß es zwei Maxima für den Netzhautstrom des Froschauges gibt, ein Maximum für das Hellauge im Gelb (589 μ Wellenlänge) und ein Maximum für das Dunkelauge im Grün (bei etwa 544 μ Wellenlänge). Diese beiden Maxima entsprechen fast genau dem Maximum des Dämmerungswertes und dem des Helligkeitswertes für das jeweils adaptierte Auge des Menschen. Wir konstatieren somit eine auffallende Parallelität psychophysischen Geschehens. Doch gewinnt diese Tatsache noch größere Bedeutung durch die objektiven Methoden, welche Hess zur Bestimmung der Dämmerungswerte und Helligkeitswerte bei den verschiedenen Tierklassen ausgearbeitet hat.

Wir können, wie Hess zeigte, feststellen, wann für einen Tagvogel oder Nachtvogel das Spektrum die größte Helligkeit hat, indem man auf die Futterkörner, welche in einer Reihe liegen, ein Spektrum fallen läßt. Die Tiere beginnen das Futter dort aufzupicken, wo es am hellsten ist. Wir erkennen daraus, daß das Maximum der Helligkeit für Tagvögel mit der Zapfennetzhaut im Gelb, das Maximum der Nachtvögel mit der Stäbchennetzhaut im Grün liegt.

Ebenso aber konnte Piper zeigen, daß das Maximum der Netzhautstromkurve bei Tagvögeln im Gelb, ihr Maximum bei Nachtvögeln im Grün liegt, und daß außerdem die Form der Kurve, welche bestimmt wird durch die jeweilige Höhe der Netzhautstromkurve, genauer gesagt der Belichtungs- oder Helligkeitsschwankung, bei Reizlichtern verschiedener Wellengänge sehr gut übereinstimmt mit der Kurve der menschlichen Dämmerungswerte und außerdem mit der Kurve der Energieabsorption des Sehpurpurs — mit anderen Worten, an der Stelle des Spektrums, wo es für das dunkeladaptierte Menschenauge am hellsten ist, absorbiert auch der Sehpurpur (von Säugetier, Vogel und Amphibium) am meisten Energie und dort ist auch die Helligkeitsschwankung der Stäbchenretina eines Nachtvogels am höchsten.

Wir sind bei der Erörterung dieser Frage bereits zu einem psychophysischen Problem angelangt und wollen daher nun den Versuch besprechen, den Netzhautstrom mit dem Ablauf der Gesichtsempfindung in Parallele zu setzen.

6. Zusammenhang von Empfindung und Aktionsstrom.

Wir können die Frage so formulieren: Entspricht dem Netzhautstrom der Ablauf der Gesichtsempfindung? Es ist gar kein Zweifel, daß diese Frage überhaupt nur auf dem Boden des psychophysischen Parallelismus gestellt werden kann, einer Hypothese, welche bündig so gekennzeichnet werden mag: Jedem Vorgang im Zentralnervensystem läuft gleichzeitig ein psychischer Vorgang parallel, so daß jeder Änderung der Nervenerregung eine Änderung im Psychischen entspricht und umgekehrt jede Veränderung im Psychische sich in einer Änderung der nervösen Prozesse zu erkennen gibt. Exner hat nun schon in seinem „Entwurf zu einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen" darauf hingewiesen, daß in dem Ablauf des Netzhautstromes gewisse Schwankungen vorkommen, die nicht vereinbar sind mit der Annahme, daß es sich bei der Belichtung lediglich um die Zersetzung einer Sehsubstanz handle. Die rein energetische Kurve der Zersetzung einer lichtempfindlichen Substanz ist wie Exner in seinem Werke ausführt, deutlich unterschieden von der Kurve des Verlaufes der Lichtempfindung; die letztere Kurve ist aber auch deutlich unterschieden von der Kurve des Netzhautstromes. Daher hat auch Piper im Jahre 1912 die Meinung geäußert, daß z. B. Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung in der Netzhautstromkurve nicht das physiologische Korrelat einer Empfindung sei, weil wir bei Ablauf der Lichtempfindung selbst weder zu Beginn noch am Ende eine solche Besonderheit wahrnehmen würden.

Dem wollen wir auch zustimmen, nur hinzufügen, daß das Auge eben nicht nur Lichtempfindungen, sondern auch spezifische Empfindung für die Veränderung vermittle, welche am auffallendsten in den Bewegungsempfindungen deutlich werden. Diese entstehen durch den Anblick bewegter Objekte; die vergleichende Physiologie lehrt uns, daß diese Bewegungsempfindungen nicht nur beim Menschen nachzuweisen sind, sondern auch z. B. bei den Libellen eine wohl charakterisierte Reaktion auslösen; denn eine Libelle, welche auf ein fliegendes Papierschnitzel ganz beliebiger Form losstürzt, zeigt uns, daß der Motorreflex ausgelöst wird durch den Reiz des sich bewegenden Objektes, nicht aber durch den Form- oder Farbenreiz des Beuteltieres. Wir können sagen, daß die Empfindung der Bewegung auch biologisch von hoher Bedeutung ist.

Ishihara versuchte nun, in seiner Arbeit die Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung als physiologischen Ausdruck der Veränderungsempfindung nachzuweisen und richtete seine Versuche so ein, daß er bei der Belichtung hauptsächlich die Bedingungen herstellte, unter denen Exner beim Menschen das Auftreten von Veränderungsempfindungen

nachweisen konnte. Er vermochte zu zeigen, daß man unter diesen Bedingungen, welche sind: Bewegungen der Lichtquelle, Intermittenz der Lichtreize, Wechsel der Intensität und schließlich der Farben der Reizlichter, immer wieder deutliche positive Schwankungen des Aktionsstromes bekommt, welche man wohl als objektiven Ausdruck der Veränderungsempfindungen deuten kann, denn wenn wir auch nicht wissen, wann und wo diese Empfindungen sich diesen speziellen nervösen Erregungen hinzugesellen, eine Schwierigkeit, die übrigens jeden psychophysischen Parallelismus trifft, so wissen wir doch gerade durch die Untersuchungen Ishiharas, daß die positive Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung vom Nervus opticus zum Zentralorgan weiter geleitet wird und dort dementsprechend imstande sein wird, eine eigene Erregung zu veranlassen. Bei kurzen Lichtreizen tritt nach Ishihara nur eine positive Schwankung ein und dieser Forscher will diese Erscheinung damit begründen, daß unter solchen Umständen auch nur eine Veränderungsempfindung auftritt. Das ist wohl richtig, doch muß hinzugefügt werden, daß auch die negative Änderungsschwankung auftritt, und wir daher sowohl für die Lichtempfindung als für die Veränderungsempfindung ein physiologisches Korrelat haben.

Auf eine wichtige Tatsache hat Ishihara ferner aufmerksam gemacht, als er zeigen konnte, daß die Netzhautstromkurve des Frosches stetig wird, d. h. keinerlei Oszillationen mehr aufweist bei derselben Reizfrequenz, bei welcher auch unsere Lichtempfindung stetig wird. Die Stetigkeit der Lichtempfindung ist abhängig von der Stetigkeit des Netzhautstromes. Scheternikoff und v. Kries konnten zeigen, daß das menschliche Auge, wenn es dunkeladaptiert ist, eine Verschmelzungsfrequenz aufweist von ungefähr 20 Reizen in der Sekunde, d. h. die Empfindung wird stetig, und eine solche von 40 bis 50 Reizen, wenn das Auge helladaptiert ist. Dem läuft auffallenderweise parallel das Verhalten der Zapfennetzhaut der Tagvögel und Stäbchennetzhaut der Nachtvögel. Denn von dem Auge der Tagvögel (Huhn, Bussard, Taube) erhält man eine stetige Netzhautstromkurve bei einer Frequenz von 40 Lichtreizen in der Sekunde, von dem Auge der Nachtvögel (Eule) eine stetige Kurve ohne Oszillationen bereits bei einer Frequenz von 20 Lichtreizen. Wir können mithin den theoretisch wichtigen Satz aussprechen: Die Stetigkeit unserer Lichtempfindung ist nicht etwa auf die integrierende Tätigkeit des Zentralnervensystems zurückzuführen, sondern in der Tätigkeit unserer Netzhaut begründet. Je nachdem die Netzhaut der Reizfrequenz folgen kann oder nicht, ist unsere Lichtempfindung unterbrochen oder stetig.

Dagegen erhebt sich eine andere Schwierigkeit, die meiner Ansicht

nach noch nicht gelöst ist. Und das ist die Frage der Latenzzeit. Die Latenzzeiten der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung unterscheiden sich so sehr voneinander, daß die beiden Schwankungen kaum ein und dieselbe Empfindung vermitteln können, da nach den Grundsätzen des pyschophysischen Parallelismus für dieselbe Empfindung auch der gleiche Nervenvorgang gefordert werden muß. Außerdem aber ist die Latenzzeit der Belichtungsschwankung nach den neuen Untersuchungen so groß (0·2 Sek.), daß die Empfindung längst zum Bewußtsein gekommen wäre, bevor überhaupt die Erregung der Netzhaut begonnen hätte. Auf diese und einige ähnliche Fragen will ich aber erst am Schlusse meiner eigenen Untersuchungen, bei dem Versuche einer neuen Deutung der Netzhautströme eingehen.

II. Eigene Versuche.

1. Versuchsanordnung.

Die Fragestellung, mit der ich ursprünglich an die Arbeit herantrat, lautet: Sind die chemischen Substanzen, welche als Narkotika bekannt sind, imstande, die Netzhautströme zu beeinflussen, und wenn dies der Fall ist, wie verändern sie das Bild derselben? Nun wird mancher im vorhinein geneigt sein, folgenden Standpunkt zu vertreten: Die Netzhautströme sind der physiologische Ausdruck der Lebensvorgänge in der Netzhaut während der Belichtung. Wir wissen, daß alle Lebensvorgänge des Protoplasmas, wie Bewegung, Sekretion, Reizleitung durch die Narkose zeitweise aufgehoben werden, warum sollten die Lebensvorgänge der Netzhaut eine Ausnahme machen?

Sind aber die Netzhautströme auch wirklich der Ausdruck der Lebensvorgänge in der Retina? Ist nicht etwa die Zersetzung einiger Sehstoffe, z. B. der drei Substanzen Einthovens und Jollys durch das Licht Ursache der elektrischen Potentialdifferenzen, welche sich in den Schwankungen der Saite offenbart?

Wenn die Hypothese richtig wäre, so könnten tatsächlich die Retinaströme trotz Einwirkung der Narkotika erhalten bleiben.

Vielleicht sind aber alle Schichten der Retina an dem Aktionsstrome, der bei der Belichtung oder Verdunkelung einsetzt, beteiligt, sind aber alle Schichten gegen Narkotika gleich widerstandsfähig? Vielleicht hätten wir in der Narkose ein Mittel, die Wirkung der einzelnen Schichten zu isolieren; und anstatt der komplizierten Versuche Kühnes, die einzelnen Schichten anatomisch zu trennen, hätten wir ein Mittel, sie chemisch zu isolieren.

Man sieht, daß, wenn einer imstande wäre, auch nur einen Teil dieser Fragen zu beantworten, die aufgewandte Mühe reichlich belohnt wäre.

Meine Versuche habe ich in dem Winter der Jahre 1912 und 1913 angestellt. Das Saitengalvanometer des Wiener physiologischen Institutes war eben erst aufgestellt worden; da in die Saite immer wieder elektrische Ströme unbekannter Herkunft einbrachen und das Arbeiten unmöglich machten, sah ich mich gezwungen, den elektrischen Strom aus dem ganzen Nordtrakt des Institutes auszuschalten, was für gewöhnlich nur in der Zeit von 6 bis 10 Uhr abends möglich war. Außerdem hatte ich, um das Präparat vollständig zu isolieren, den ganzen Tisch mit der Versuchsanordnung in einem Zimmer auf eine Paraffinplatte gestellt, das Saitengalvanometer selbst befand sich in einem Nebenzimmer. Eine Drahtleitung, durch die Mauer gezogen, verband die Elektroden mit dem Galvanometer. Ich arbeitete meistens an Fröschen, Rana esculenta, aber auch an Kaninchen. Die Methodik bei beiden ist verschieden.

Die Frösche setzte ich gewöhnlich in der Frühe in ein großes Standgefäß, das in einen geräumigen, verschlossenen Kasten gestellt wurde, arbeitete also fast stets mit Dunkel-Fröschen. Die Elektroden waren die unpolarisierbaren Quecksilber-Kalomelelektroden, wie sie Ostwald-Luther angegeben haben, hie und da auch Tonstiefelelektroden, welche aber im Vergleiche zum obengenannten einen viel größeren Widerstand boten. Da bekanntlich bei den erwähnten Quecksilber-Kalomelelektroden mit Hilfe eines mit Ringer befeuchteten Dochtes abgeleitet wird, so legte ich meist das herauspräparierte Froschauge auf den Docht der einen Elektrode, unterstützt durch einen gläsernen Objektträger, den Docht der anderen Elektrode, zu einer leichten Spitze zusammengedreht, brachte ich mit der Cornea in Berührung.

Das Präparat befand sich in der feuchten Kammer, um gegen Austrocknen geschützt zu sein. Dem Auge gegenüber, etwa 20 bis 30 cm von ihm entfernt, befand sich eine Glühlampe, die ich mit Hilfe eines Schlüssels zum Leuchten brachte, den ich im Nebenzimmer betätigen konnte, ohne das Auge vom Bilde der Saite abwenden zu müssen. Denn ich konnte und wollte nicht bei jedem Versuch die Saite photographieren und begnügte mich oft, die gefundenen Werte zu verzeichnen. Zu diesem Behufe projizierte ich das Bild der Saite mit Hilfe eines Projektionsokulars auf einen mit einer Skala versehenen weißen Schirm. Trotz aller Vorsichtsmaßregeln brachen dennoch infolge der vielen elektrischen Leitungen in und neben dem Institut ab und zu fremde Ströme ein, so daß ich manchmal nach stundenlangem Bemühen, ein ruhiges Saitenbild zu erhalten an dem betreffenden Abend die Arbeit einstellen mußte.

Wenn ich die Saite photographierte, so ließ ich die Dauer des Lichtreizes durch einen Elektromagneten verzeichnen, der bei Aufleuchten der Lampe automatisch in Tätigkeit geriet; die Zeit wird auf die Abszissenachse durch eine Uhr geschrieben, welche $^1/_5$ Sekunden verzeichnete. — War eine Kurve photographiert, so wurde sie meist noch am Abend entwickelt und fixiert.

Wurde das sorgsam herauspräparierte Auge mit den Elektroden verbunden, so mußte natürlich zuerst der Bestandstrom kompensiert werden, was mit Hilfe der „Brücke" nach Du Bois Reymond bewerkstelligt wurde. Gewöhnlich blieb der Bestandstrom während der nächsten Stunde so weit konstant, daß nur ganz kleine Änderungen des kompensierenden Stromes notwendig waren.

Nachdem ich mich gewöhnlich überzeugt hatte, daß an diesem Abend, an dem ich gerade arbeiten wollte, die Saite ruhig sei und das Auge eines normalen Dunkelfrosches die bekannten Belichtungs- und Verdunkelungsausschläge gab, stülpte ich z. B. über einen Frosch eine Glasglocke, unter die ich auch eine mit Äther oder Chloroform getränkte Watte brachte, wenn ich einen Versuch über eine dieser Substanzen machen wollte. Nach einer Zeit, die bei verschiedenen Versuchen verschieden bemessen wurde, nahm ich das Tier heraus, dekapitierte es, um leichter arbeiten zu können und präparierte dann das Auge mit Hohlschere aus der Orbita so schonend wie möglich heraus. Dies geschah immer bei einer roten Dunkelkammerlampe. Die Rollläden waren auch heruntergelassen, obwohl ich weiß, daß diese Vorsichtsmaßregeln von vielen vielleicht als zu weitgehend bezeichnet werden. Diese Präparation dauerte etwa 5 Minuten, doch könnte man mir bei meiner Fragestellung einwerfen, daß in dieser Zeit ein Teil des gasförmigen Narkotikums entwichen sei; diesem Einwand hätte man am besten begegnen können, wenn, ähnlich wie bei einer Sauerbruchschen Kammer, in diesem Falle das Tier und die Arme des Operateurs in Äther- oder Chloroformatmosphäre eingeschlossen gewesen wären. Ich aber zog es vor, diese wenigen Minuten des Aufenthaltes in normaler Luft in Kauf zu nehmen und das Auge gleich darauf in die feuchte Kammer zu bringen, in welcher ein offenes Schälchen, z. B. Äther oder Chloroform, gestellt wurde. So befand sich das Auge dann in einer Atmosphäre, deren Zusammensetzung ich jeweils bestimmen konnte.

Ich arbeitete in zwei Jahren leider hauptsächlich in der Winterzeit an der Beantwortung dieser Frage. Die Retinaströme der untersuchten Frösche sind in dieser Zeit viel schwächer, auch ist der Anstieg der Schwankungen in der Winterzeit bedeutend träger als im Sommer; am schwächsten sind aber die Retinaströme im Februar und März, also vor der Brunstzeit.

Sollte dieser Herabsetzung der nervösen Erregbarkeit vor der Brunstperiode nicht eine biologische Bedeutung zukommen? Es wäre nicht unmöglich, daß veränderte Zirkulationsvorgänge mit Ursache der angeführten Verhältnisse wären.

2. Die Wirkung von chemischen Substanzen, insbesonders der Narkotika auf den Netzhautstrom.

Bevor ich meine eigentlichen Versuche bespreche, will ich bemerken, daß die Netzhautströme bei demselben Tier im Winter und Sommer voneinander verschieden sind. Als Beispiel bringe ich hier zwei Kurven, die unter denselben technischen Bedingungen gewonnen wurden, d. h. also dieselbe Beleuchtung, gleiche Elektroden, gleiche Empfindlichkeit der Saite des Galvanometers. Die eine Kurve Nr. 2 ist aber vom Januar, die anderen Nr. 1 und 4 sind vom Juni. Die Schwankungen der Saite, die auch während völliger Dunkelheit sich bemerkbar machen, sind, wie ich schon erwähnte, verursacht durch fremde Ströme, deren Einwirkung ich oft nicht ganz ausschalten konnte. Auf Kurve Nr. 4 sehen wir den idealen Verlauf eines Netzhautstromes an einem Dunkelauge bei mäßiger Beleuchtung. Die negative Änderungsschwankung als zarten Strich nach abwärts angedeutet — durch die Unruhe der Saite zum Teil gedeckt — die steil aufsteigende Belichtungsschwankung; nach einem Absinken, sanft aufsteigend und fast parallel zur Abszisse weitergehend die Helligkeitsschwanschwankung, bei der Verdunkelung (Kurve 1) sinkt der Strom steil ab, um sogar etwas tiefer zu sinken, als er vor der Belichtung war und nochmals sanft anzusteigen, ein Ausdruck der noch wirkenden Helligkeitsschwankung, bei der Kurve 4 erkennen wir wieder eine steile Verdunkelungsschwankung, welche höher als die Belichtungsschwankung auch zu einem Absinken unter die Abszisse führt, worauf dann der Strom wieder langsam ansteigt — die bekannte Helligkeitsschwankung.

Ganz anders die Winterkurve Nr. 2. Die Belichtungsschwankung steigt träger auf, hat eine Latenz, die gleich um ein Vielfaches größer ist als die der Sommerkurve, die Helligkeitsschwankung ist kaum angedeutet, während der 3 Sekunden der Belichtung sinkt die Kurve fast zur Abszisse, ohne sie zu erreichen und hebt sich dann gleich träge in eine mäßig hohe Verdunkelungsschwankung, nach welcher sie weiter absinkt.

Der Unterschied zwischen beiden Kurven ist so auffallend, daß ich dabei nicht lange zu verweilen brauche.

Besprechen wir nun die reinen Narkoseversuche. Ein Dunkelfrosch wird unter die Glocke gesetzt, ein Wattebausch, mit Äther getränkt, dazu

gelegt. Nach etwa einer Viertesltunde ist das Tier narkotisiert und das Auge wird an die Elektroden gebracht. Der Netzhautstrom besteht im vollen Maße weiter. Wir ersehen daraus, daß die zur Narkose des Nervensystems notwendige Menge nicht ausreicht, den Aktionsstrom zum Verschwinden zu bringen. Ich stellte daher in die feuchte Kammer ein offenes Schälchen mit Äther und beobachtete von 5 zu 5 Minuten die weitere Einwirkung des Narkotikums. Zuerst fällt uns auf, daß bei zwei- oder dreimaliger Reizung des Auges durch Licht die Verdunkelungs- und Belichtungsausschläge kleiner werden, das Auge mithin leichter ermüdet, ferner nimmt die Latenzzeit der Belichtungsschwankung zu, sie kann schließlich mehr als $^1/_5$ Sekunde betragen, nach einer Stunde, manchmal noch nach längerer Zeit geben, ganz geringe Schwankungen der Saite sozusagen die Stelle an, wo die beiden Schwankungen auftreten und verschwinden (Kurve Nr. 3). Oft kam gerade bei der Äthernarkose dazu, daß, wenn die Belichtungsschwankung des normalen Auges deutlich größer war als die Verdunkelungsschwankung, letztere zuerst verschwand. Doch möchte ich darauf kein besonderes Gewicht legen, weil die Äthernarkose beide Schwankungen vermindert und wenn die Verdunkelungsschwankung zu Beginn des Versuches schon kleiner ist, sie natürlich auch zuerst verschwinden muß. Als Beispiel dient die Kurve Nr. 7. Wenn ich nun den Äther aus der feuchten Kammer entfernte, so kann man ein allmäliches Rückkehren der beiden Schwankungen feststellen, doch sah ich niemals, daß die Schwankungen die ursprüngliche Höhe erreichten. Es wird wohl die Narkose nicht ohne eine leichte Schädigung der Funktion vor sich gehen, worauf auch die lange Latenzperiode der Belichtungsschwankung hindeutet. Auch die Latenzzeit der Verdunkelungsschwankung nimmt während der Narkose zu, erreicht aber die der Belichtungsschwankung bei weitem nicht, sondern beansprucht im besten Fall die halbe Zeit; wenn also die letztere fast den Wert von $^2/_5$ Sekunden hat, beträgt die Latenz der Verdunkelungsschwankung kaum $^1/_5$ Sekunde.

Ganz ähnlich verlief die Chloroformwirkung. Auch da gelang es regelmäßig von einem zur vollständigen Reflexlosigkeit narkotisierten Tier normale Netzhautströme zu erhalten, Kurve Nr. 2 ist der Netzhautstrom von dem Auge eines chloroformierten Tieres.

Das Auge selbst ist ebenfalls, wenn auch erst kurze Zeit, in der Chloroformatmosphäre. Wenn nun das Chloroform länger auf das Auge einwirkte, so begann der Belichtungsausschlag deutlich kleiner zu werden, wenn man zwei Lichtreize, durch die Zeit von einigen Sekunden getrennt, aufeinander folgen ließ, als ob der Belichtungsausschlag zuerst ermüdete (Kurve Nr. 6). Im weiteren Verlauf tritt tatsächlich eine Zeit

ein, wo der Belichtungsausschlag fehlt und nur der Verdunkelungsausschlag vorhanden ist.

Ich gebe hier einen Auszug aus meinem Versuchsprotokoll zur Probe.

25. I.	7 Uhr 25 Min. abends	Dunkelfrosch unter eine Glasglocke. Chloroformnarkose.
	7 ,, 55 ,, ,,	Das Auge wird herauspräpariert, das Tier hat keine Reflexe mehr.
	8 ,,	Auge in Chloroformatmosphäre der feuchten Kammer gebracht, deutliche Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung.
	8 ,, 40 ,, ,,	Fast keine Belichtungsschwankung. Verdunkelungsschwankung 4 mm.

Nach einer weiteren halben Stunde verschwindet auch diese. Aus dem Versuchsprotokoll entnehmen wir, daß die Belichtungsschschwankung mithin früher verschwindet als die Verdunkelungsschwankung, eine Tatsache, die ich deutlich bei der Narkose mit Chlorroform erweisen konnte, aber auch bei der Äthernarkose konnte ich sie aufzeichnen, wenn Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung zu Beginn der Untersuchung bei einer Reizdauer von 2 bis 4 Sekunden gleich hoch waren. Ich werde auf diese Tatsache bei Besprechung der Ergebnisse noch zurückkommen. Chloroform dem Auge in Tropfenform erweist sich als ein sehr starkes Gift, denn die Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung verschwinden wenige Minuten, nachdem man zwei Tropfen zu dem Auge zugesetzt hat.

Wird nun das Auge etwa eine Stunde frischer Luft ausgesetzt, so kehrt der Aktionsstrom langsam wieder zurück, die Belichtungsschwankung erreicht die Höhe von 3 mm.

Ich habe auch am Kaninchen im Jahre 1913 einzelne Versuche mit Chloroform gemacht. Das Kaninchen wurde einige Stunden vor dem Versuche im Dunkeln gehalten. Das Auge läßt sich leicht luxieren, so daß die zweite Elektrode ohne blutigen Eingriff an die hintere Seite des Auges angelegt werden konnte. Um störende Bewegungen auszuschalten, wurden die Tiere kurarisiert.

Um auch von den Atembewegungen ganz ungestört zu sein, führte ich dem Kaninchen eine Trachealkanüle ein und erhielt das Tier durch Sauerstoffinsufflation am Leben. Die Schwankungen des Bestandstromes auf Belichtung und Verdunkelung waren nicht groß, etwa 2 mm. Wenn ich dann anstatt des Sauerstoffes eine Chloroformatmosphäre insufflieren ließ, so verschwand der Retinastrom nach etwa 15 Minuten; wurde dann

wieder reiner Sauerstoff eingeblasen, so stellten sich auf Belichtung und Verdunkelung die so geringen Schwankungen des Retinastromes wieder ein. Also auch bei Säugetieren werden die Netzhautströme durch die Narkose zum Verschwinden gebracht und zwar im Vergleiche zu den Kaltblütern in einer geringeren Zeit, da die Retina bei Säugetieren empfindlicher ist als die der Kaltblüter. Auch hier tritt die Narkose des Zentralnervensystems sicher früher ein als das Verschwinden des Aktionsstromes.

Ich suchte denn im Verlaufe der Untersuchungen noch festzustellen, ob es gelingt, an dem Auge eines Frosches, der durch die Narkose getötet worden ist, Netzhautströme im normalen Umfange zu erhalten und habe eine Anzahl positiver Versuche in dieser Richtung gemacht. Auf diese Weise ist dem Einwand der Boden entzogen, daß die Ganglienzellen der Retina, welche entwicklungsgeschichtlich doch ein Teil des Gehirns ist, etwa an den Aktionsströmen beteiligt wären.

Im weiteren Fortgang der Arbeit untersuchte ich die Wirkung des Äthylalkohols und zu diesem Behufe injizierte ich Fröschen subkutan je 1 ccm 96 prozentigen Alkohol. Obwohl ein solcher Frosch nach wenigen Minuten reflexlos war, erhielt ich von dem enukleierten Auge deutliche Retinaströme. Dagegen zeigte das Auge eines Frosches, dem $^1/_2$ ccm Alkohol subkutan, 1 ccm intraperitoneal, und $^1/_2$ ccm in den Rücken-lymphseits injiziert worden war, keine photoelektrischen Schwankungen des Bestandstromes mehr.

Ich war also imstande, durch relativ große Mengen von Alkohol die Retinaströme zum Verschwinden zu bringen. Um den Versuch ein wenig zu verändern, wurde zu dem Auge eines normalen Dunkelfrosches, welches ein normales photoelektrisches Verhalten zeigte, 4 Tropfen Alkohol (75 proz.) zugesetzt. Nach der ersten Minute trat nun eine bedeutende Steigerung der photoelektrischen Reaktion ein, welche aber meist so rasch verging, daß die wenigen Minuten, welche ich brauchte, um eine photographische Aufnahme vorzubereiten, schon ausreichten, um die Steigerung verschwinden zu lassen. Nach 10 bis 15 Minuten waren die Retinaströme gewöhnlich endgültig entschwunden. Es ist klar, daß man den Moment der Steigerung der photoelektrischen Reaktion bei Versuchen mit subkutaner oder intraperitonealer Injektionen nur schwer sehen wird, weil er eben nur wenige Minuten anhält. Dieses Verschwinden der Retinaströme kann eben aus dem Grunde nicht mehr als Narkose bezeichnet werden, weil wir bei direktem Zusatz von Alkohol eben nicht imstande sind, die Schädigung des Gewebes zu vermeiden, so daß eine Wiederkehr der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung nicht zu erzielen ist.

Vom salzsauren Morphin kann ich berichten, daß ich deutliche Retinaströme bekommen habe, wenn ich es Fröschen subkutan injizierte (0·01 g bis 0·03 g). Ob die ganz großen Dosen nicht doch auch die photoelektrischen Schwankungen beseitigen, kann ich nicht behaupten. Doch darf man nie vergessen, daß alle diese Experimente bei ganz großen oder ganz geringen Mengen anders verlaufen und daß wir uns bei diesen Versuchen immer innerhalb der Grenzen der auch auf andere Organe oder Gewebe wirksamen Mengen halten wollen. Morphin ist also auf die Retinaströme ohne Wirkung.

Nicht das gleiche kann ich von der Blausäure behaupten. Wenn ich 1 ccm einer 0·5 prozentigen Blausäurelösung einem Frosche subkutan injizierte, so fand ich dann am herauspräparierten Auge die photoelektrischen Schwankungen bedeutend stärker als bei einem normalen Auge. Es werden also geringe Mengen der Blausäure imstande sein, die Lichtempfindlichkeit der Retina zu steigern. Wenn ich aber 2 bis 3 Tropfen Blausäure direkt aufs Auge brachte, so verschwanden Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung binnen drei Minuten. Man wird nicht fehlgehen, diese Er-scheinung als eine Gewebserstickung zu deuten.

Wenn ich einen Dunkelfrosch mit Strychnin subkutan vergiftete und wartete, bis er absolut reflexlos war, so konnte ich bei einer Reizdauer von 1 bis 2 Sekunden feststellen, daß die Verdunkelungsschwankung doppelt so groß als normal war, die Belichtungsschwankung sich dagegen nicht verändert hatte. Auch da mußte man gerade die richtige Zeit nach der Injektion treffen, wenn man gerade das Verhalten treffen wollte.

Wenn ich dagegen ein normales Auge zwischen den Elektroden hatte, das auf der Skala photoelektrische Schwankungen bis zu 1 cm aufwies, und diesen 4 Tropfen einer Strychninlösung 1:1000 zusetzte, so waren Belichtungs- und Verdunkelungsausschläge nach fünf Minuten kaum mehr $1^1/_2$ mm. So stark wirkte das Gift auf die Retina! Bei direktem Zusatz des Giftes zum Auge konnte ich also eine Empfindlichkeitssteigerung nicht nachweisen.

Wir kommen nun zu der Besprechung der Wirkung von Pilokarpin und Atropin.

Ich injizierte einem Frosch subkutan 5 bis 10 mg Pilokarpin. Wenn ich etwa 20 bis 30 Minuten hernach das Auge frei präparierte und in die feuchte Kammer brachte, so konnte ich deutliche Belichtungs- und Verdunkelungsschwankungen nachweisen.

Wenn ich dagegen einem normalen frei präparierten Auge 8 Tropfen einer Pilokarpinlösung (1 : 1000) zusetzte, so verschwanden auch da die photoelektrischen Schwankungen binnen 3 Minuten. Setzte ich aber nur

3 bis 4 Tropfen dieser Lösung dem Auge zu, so trat nach etwa 5 Minuten eine deutliche Vergrößerung der photoelektrischen Reaktion ein.

Der Antagonismus, der zwischen Pilokarpin und Atropin besteht, erfuhr durch weitere Versuche eine Bestätigung. Atropinzusatz (1 : 1000) direkt zum Auge verändert die Retinaströme nicht. Dagegen gelang es zu zeigen, daß Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung wieder auftreten bei Zusatz von Atropin, wenn diese in einem enukleierten Bulbus bereits durch Zusatz von Pilokarpin zum Verschwinden gebracht worden waren. Die neu auftretende Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung erreichten zwar nicht die ursprüngliche Höhe vor Zusatz des Pilokarpins, verhielten sich aber dennoch zu ihnen, wie meine Messungen ergaben, wie 3 : 5.

Auch die Umkehr dieses Versuches habe ich geprüft. Ich setzte einem Dunkelauge ,welches sich zwischen der Elektrode befand und dessen normales photoelektrisches Verhalten bereits festgestellt worden war, einige Tropfen Atropin zu, die Netzhautströme blieben unverändert. Wenn ich nun einige Tropfen Pilokarpin zusetzte, so dauerte es fast $^1/_4$ Stunde, bis die Verminderung der photoelektrischen Schwankungen deutlich wurden$_0$ die doch sonst in wenigen Minuten eintrat. Es hat also tatsächlich den Anschein, als ob die beiden Substanzen sich gegenseitig aus ihren Angriffspunkten verdrängen würden.

Wenn ich diese Ergebnisse zusammenfasse, so kann ich feststellen:

1. Eine Beeinflussung der Netzhaut ist durch verschiedene Substanzen möglich.

2. Die Narkotika bringen die Netzhautströme zum Verschwinden.

3. Selbst der Tod des Frosches durch Narkotika tritt lange vor dem Momente ein, in welchem der Netzhautstrom erlischt.

4. Zuerst verschwindet die Belichtungsschwankung, später die Verdunkelungsschwankung.

5. Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung werden nicht nur kleiner, sondern auch ihre Latenzzeiten nehmen zu. Die Latenzzeit der Verdunkelungsschwankung beträgt knapp vor dem Erlöschen etwa die Hälfte der Latenzzeit der Belichtungsschwankung.

6. Die photoelektrischen Schwankungen können nach der Entfernung des gasförmigen Narkotikums wiederkehren, doch erreichen sie nie mehr die ursprüngliche Höhe.

7. Die anderen Gifte, Alkohol, Blausäure, Strychnin, Pilokarpin schädigen die Netzhaut nach einer kurzen Steigerung ihrer Erregbarkeit, so daß die Netzhautströme nach einer kurzen Periode stärkerer Schwankungen verschwinden.

8. Strychnin bewirkt für kurze Zeit eine elektive Vergrößerung der Verdunkelungsschwankung.

9. Morphin und Atropin erwiesen sich als unwirksam.

10. Atropin vermag jedoch den durch Pilokarpin zum Verschwinden gebrachten Netzhautstrom wieder in Erscheinung treten zu lassen.

3. Versuch einer neuen physiologischen Deutung der Netzhautströme.

Aus den Ergebnissen meiner Arbeit möchte ich vorerst einige Folgerungen ziehen. Ich hebe erstens hervor: Wenn auch die Ganglienzellen und Nervenfaserschicht an der Entstehung der Netzhautströme beteiligt wären, so müßten bei der tiefen Narkose eines Frosches, in welcher sämtliche Nerventätigkeit bereits unterbrochen ist, auch diese beiden Schichten ausgeschaltet worden sein. Die Netzhautströme bestehen weiter, daher haben diese beiden Schichten keine Beziehungen zu ihnen.

Dazu kommt noch, daß bei der Ableitung vom Nervus opticus der Netzhautstrom viel früher erlischt, als bei Ableitung vom Bulbus. Der Nervus opticus ist aber selbst noch erregbar, ein Beweis dafür, daß eine Schicht zwischen Nervus opticus und Sinnesepithelschicht bereits abgestorben ist. Diese früher absterbende Schicht bewirkt also keinerlei Schwankung des Netzhautstromes; denn wenn sie auch fehlt, ist der Netzhautstrom bei Ableitung vom Bulbus unverändert.

Aus den Untersuchungen Kühnes und Steiners wissen wir, daß die Pigmentepithelschicht keine photoelektrische Reaktion aufweist, daher können wir sagen: Die Netzhautströme entstehen in der Schicht der Stäbchen und Zapfen.

Die Netzhautströme sind aber nicht bewirkt durch die Zersetzung irgendwelcher Sehsubstanzen. Denn es ist höchst unwahrscheinlich, daß irgendwelche chemische Substanzen, durch Narkose zur Ruhe und nach Aufhebung derselben wieder zur Tätigkeit gebracht werden könnten und auch durch Pilokarpin und Atropin in ähnlicher Weise beeinflußt werden könnten. Viel eher werden wir den Netzhautstrom als Ausdruck der Lebenstätigkeit des Protoplasmas der Sinneszellen auffassen. Dafür, daß der Netzhautstrom nicht einheitlicher Natur ist, sprechen auch meine Versuche. Chloroform und Äther bringen zuerst die Belichtungsschwankung zum Verschwinden. Die Latenzzeit der Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung vergrößert sich ungleichmäßig. Strychnin verdoppelt elektiv die Verdunkelungsschwankung.

Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung sind mithin nicht Ausdruck der Reizung ein und deselben Elementes, sondern der verschiedenen

Elemente. Es geht also nicht nur aus den Untersuchungen Einthovens, Jollys und Pipers, sondern auch aus meinen Versuchen hervor, daß Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung nicht zusammengehören, wohl aber, daß die Verdunkelungsschwankung und die negative Änderungsschwankung Ausdruck der Reizung eines Netzhautelementes seien, und ich zögere nicht gerade mit Rücksicht auf die Untersuchungen Ishiharas diese beiden Schwankungen als Ausdruck der Erregung der Stäbchen aufzufassen. Es ist klar, daß ich dann die Erregung der Zapfen in der sogenannten Belichtungsschwankung wiedererkenne.

Auch die Verdunkelungsschwankung ist dann wieder sozusagen in ihre alte Würde eingesetzt, sie stellt sich nicht als ein zufälliges Ergebnis der Interferenz zweier Teilströme dar, sondern erscheint als das, was sie sowohl der Form als auch der Latenz nach ist: als positive Ergänzung zu dem negativen Vorschlag, den ich als Änderungsschwankung zu bezeichnen vorschlug; mit dem Buchstaben A wird sie auch bereits von Einthoven und Jolly bezeichnet. Wenn die Verdunkelungsschwankung nur das wäre, was Piper behauptet, wäre es auch ganz unmöglich, daß sie während der Narkose, eine Zeitlang wenigstens, allein sichtbar ist. Man betrachte nur einmal den hypothetischen Entwurf Pipers, um zu sehen, daß eine Ausschaltung der Belichtungsschwankung, sagen wir durch Verkleinerung des hypothetischen Teilstroms I, ohne gleichzeitiges Verschwinden der Verdunkelungsschwankung unmöglich ist.

Wir wissen ferner, daß die Verdunkelungsschwankung an jeder Stelle ihres Aufstiegs unterbrochen werden kann, die Belichtungsschwankung dagegen, einmal im Aufstieg begriffen, nicht mehr gestört werden kann. Auch das stimmt mit der Tätigkeit der Zapfen als Vermittler unserer Lichtempfindung gut überein, da wir wissen, daß das positive Nachbild Exners (das metaphotische Bild Stiglers) einen sehr kurzen Lichtreiz überdauert und in der Intensität noch im Anstieg begriffen ist, wenn der Lichtblitz längst vorüber ist. Dafür wird uns die Hypothese Pipers, welche in der kurzen und spitzen Änderungsschwankung die Zapfenerregung zu erkennen glaubt, keinen Anhaltspunkt geben, wohl aber unsere Anschauung, welche in der steil aufsteigenden B(elichtungs)schwankung das physiologische Korrelat der einfachen Lichtempfindung sehen will.

So fällt denn auch die Schwierigkeit für Ishihara hinweg, die große Latenz der Belichtungsschwankung (0·2 Sek.) mit der Veränderungsempfindung zusammenzubringen. Denn eine der ersten psychophysischen Fragen ist wohl die: Ist die Latenz der Lichtempfindung (Veränderungsempfindung) wohl größer als die der ersten Schwankung des Netzhautstromes? Denn, wenn dies nicht der Fall wäre, müßten wir darauf ver-

zichten, die Lichtempfindung und den Netzhautstrom überhaupt in eine Beziehung zu setzen. Wir wissen aber, daß die Latenz der Änderungsschwankung (0·01 Sek.) sehr gut zusammenstimmt mit der Latenz der Empfindung, so daß auch dieses Bedenken beseitigt werden kann. Darauf hinweisen will ich, daß auch die Untersuchungen der Astronomen über Reaktionszeit — Einthoven und Jolly berichten davon — damit recht gut übereinstimmen.

Von einer Schwankung habe ich bisher nicht gesprochen, das ist die Helligkeitsschwankung.

Die Tatsache, daß sie bei schwachen Reizen, welche aber sicher eine Lichtempfindung erregen, nicht auftritt, beweist, daß sie mit der Lichtempfindung selbst nichts zu tun hat. Diese Anschauung wird unterstützt durch die Tatsache, daß die Helligkeitsschwankung langsam und träge abläuft und viele Sekunden, nachdem der Lichtreiz längst erloschen ist, noch andauert, zu einer Zeit, in der auch die primäre Empfindung (das metaphotische Bild) längst abgeklungen ist.

Da diese Schwankung ferner bei Tieren fehlt, welche nur Zapfen in der Netzhaut haben, ferner bei helladaptierten Fröschen auch vermißt wird, stelle ich die Hypothese auf, daß es die Zersetzung und Regeneration des Sehpurpurs ist, deren photoelektrisches Korrelat wir in der Helligkeitsschwankung nachweisen können.

Gerade bei den Tieren, welche keine Stäbchen in ihrer Retina haben — der Sehpurpur befindet sich in den Außengliedern der Stäbchen —, z. B. bei Schildkröten, fehlt diese Schwankung ganz. Aber nicht nur bei Fröschen, welche gut hell adaptiert sind, fehlt bei Lichtreizen die Helligkeitsschwankung, auch bei den Vögeln kann man Ähnliches bemerken.

Die Helligkeitsschwankung, auf welche sich bei den Nachtvögeln recht deutlich Belichtungs- und Verdunkelungsschwankung aufsetzen, fehlt bei den Tagvögeln, bei denen in der Retina vor allem Zapfen vorkommen, fast vollständig. Man sieht also, daß die Helligkeitsschwankung nur dort vorkommt, wo auch die Stäbchen und zwar die nicht ausgebleichten Stäbchen in Tätigkeit geraten.

Wir meinen nachgewiesen zu haben, daß die Sinnestätigkeit der Stäbchen sich in der Änderungs- und Verdunkelungsschwankung zu erkennen geben. Es kommt also vor allem ein Prozeß in den Stäbchen in Betracht, welcher nicht direkt mit der Sinnestätigkeit in Beziehung steht.

Außerdem liegt das Maximum der Helligkeitsschwankung je nach den verschiedenen Wellenlängen des Reizlichtes fast genau an derselben Stelle, an der das Maximum der Energieabsorption des Sehpurpurs liegt. Es muß sich also ein Prozeß abspielen in den nicht ausge-

bleichten Stäbchen, der nicht direkt mit der Sinnestätigkeit zusammenhängt.

Ich glaube daher ein hypothesis bene fundata auszusprechen mit den Worten: Die Helligkeitsschwankung ist der physiologische Ausdruck der Zersetzung des Sehpurpurs durch das Licht und seiner Wiederneubildung im Dunkeln.

Wir kommen zum Schlusse.

Ich gebe ein Schema des Netzhautstromes, den man nach meiner Untersuchung vielleicht richtiger mit dem Worte Sinnesepithelstrom bezeichnen könnte.

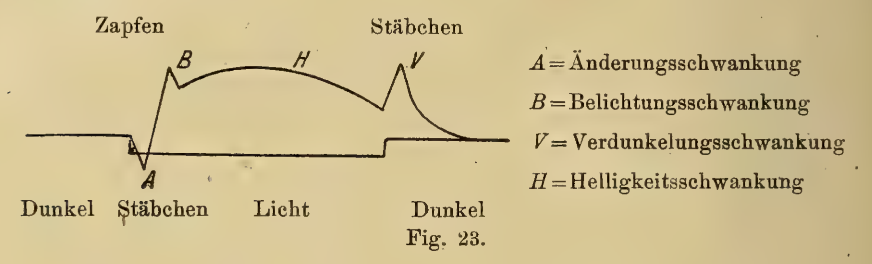


Fig. 23.

Die Tätigkeit der Stäbchen wird sich also in einer kurzen negativen Schwankung bei Belichtung und einer positiven bei Verdunkelung kund tun und beim Menschen die Bewegungs- und Veränderungsempfindung vermitteln und beim Dämmerungssehen einen großen Teil der Leistung, wenn nicht alle übernehmen. Isoliert würde diese Schwankung im Schema sich so darstellen:

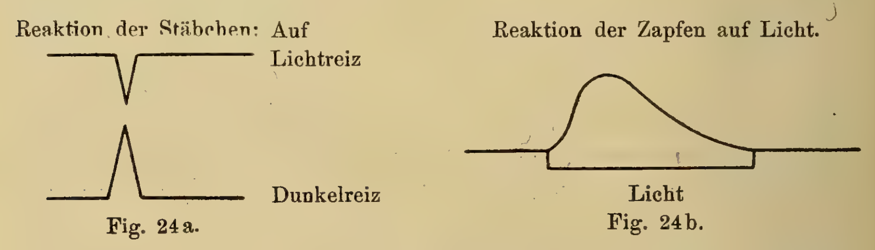


Fig. 24a. Fig. 24b.

Die Tätigkeit der Zapfen würde sich in einem Teilstrom kundtun, wie wir es hier auf Schema B wiedergeben und würde uns die Lichtempfindung vermitteln.

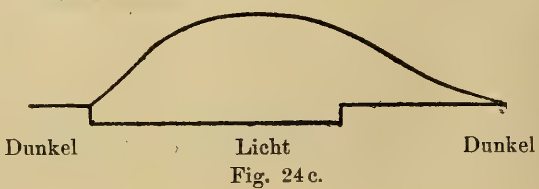


Fig. 24c.

Die Zersetzung des Sehpurpurs durch Licht und seine Regeneration würde isoliert sich in der Kurve C wiederspiegeln.

Die Deutung des Netzhautstromes als einer Resultierenden verschiedener Teilströme ist also auch bei meiner Hypothese beibehalten, nur versuchte ich an Stelle der hypothetischen Sehsubstanzen die wohlcharakterisierten Strukturelemente der Sinnesepithelschicht als Erreger der Teilströme hinzustellen, nachdem ich nachgewiesen zu haben vermeine, daß der Netzhautstrom nur in dieser Schicht entsteht.

Bei meinen Versuchen habe ich nicht den Gedanken aus dem Auge verloren, vielleicht eine ungleichmäßige Empfindlichkeit der Stäbchen und Zapfen gegen chemische Substanzen zu finden und dadurch auf chemischem Wege die Leistung der Stäbchen und Zapfen auseinander zu halten und konnte tatsächlich zeigen, daß bei der Chloroformnarkose zuerst die Belichtungsschwankung verschwindet; die Zapfen, deren Tätigkeit ich für diese Schwankung in Anspruch nehme, würden also zuerst der Narkose erliegen, erst dann würden die Stäbchen ausgeschaltet. Eine ganz geringe Verschiedenheit in dem chemischen Aufbau der Stäbchen und Zapfen könnte die Ursache davon sein.

In ähnlicher Weise wäre die Wirkung des Strychnins zu deuten. Diese Substanz, welche die Verdunkelungsschwankung vergrößert, würde mithin elektiv die Empfindlichkeit der Stäbchen steigern.

Ich bin mir wohl bewußt, hier auf einem Boden zu stehen, wo beobachtete Tatsachen und hypothetische Annahmen ineinander verschränkt sind.

Vielleicht gelingt es auch hier, durch neue Beobachtungen und Tatsachen diesen Boden zu stützen.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinen ergebenen Dank abzustatten Herrn Hofrat Sigm. Exner für die Anregung und das Interesse, das er meiner Arbeit stets entgegenbrachte und Herrn o. ö. Professor Dr. C. Schwarz, dem damaligen Assistenten des Institutes, welcher mir in allen technischen Fragen stets mit Rat und Tat beigestanden ist.

Literaturverzeichnis.

G. Abelsdorff, Die ophthalmoskopische Erkennbarkeit des Sehpurpurs. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* 1896. Bd. XIV. S. 77—90.

Derselbe, Zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes bei Menschen und Tieren. *Dies Archiv.* 1900. Physiol. Abtlg. S. 561—562.

K. C. Ayres und K. Kühne, Über Regeneration des Sehpurpurs beim Säugetiere. *Unters. a. d. physiol. Inst. Heidelberg.* 1882. Bd. II. S. 215—240.

A. Beck, Über die Belichtung der Netzhaut mit von Eledone moschata entstehenden Aktionsströmen. Pflügers *Archiv.* 1899. Bd. LXXVIII. S. 129 bis 162.

F. Boll, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. *Mon.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Berlin.* 1876. S. 783—787.

Derselbe, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. *Dies Archiv.* 1877. Physiol. Abtlg. S. 1—36.

Derselbe, Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung. *Ebenda.* 1881. Physiol. Abtlg. S. 1—38.

E. Th. v. Brücke und S. Garten, Zur vergleichenden Physiologie der Netzhautströme. Pflügers *Archiv.* 1907. Bd. CXX. S. 290—348.

J. Dewar and J. G. Mc Kendrick, On the physiological action of light. *Journ. of anat. and physiol.* 1873. Vol. VII. p. 275—283.

J. Dewar, The physiological action of light. *Nature.* 1877. Vol. XV. p. 433—434 and 453—454.

K. Einthoven und W. A. Jolly, The form and magnitude of the electrical response of the eye to stimulation by light at various intensities. *Quart. journ. exp. physiology.* 1908. Vol. I. p. 373—416.

Th. W. Engelmann, Über Bewegung der Zapfen und Pigmentzelle der Netzhaut unter dem Einfluß des Lichtes und des Nervensystems. Pflügers *Archiv.* 1885. Bd. XXXV. S. 498—508.

A. Ewald und W. Kühne, Untersuchungen über den Sehpurpur. *Unters. a. d. physiol. Inst. Heidelberg.* 1878. Bd. I. S. 139—218, 248—290 und 370—455.

S. Exner, *Die Physiologie der facettierten Augen der Krebse und Insekten.* Eine Studie. Leipzig und Wien 1891.

Derselbe, Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. *Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien.* 1886.

Derselbe, Bemerkungen über intermittierende Netzhautreizung. Pflügers *Archiv f. Phys.* 1870. Bd. III.

Derselbe, *Entwurf zu einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen.* I. Teil. 1894.

S. Garten, Über die Veränderungen des Sehpurpurs durch Licht. v. Graefes *Archiv f. Ophthalm.* 1906. Bd. LXIII. S. 112—187.

F. Gotch, The time-relations of the photo-electric changes produced in the eye-ball of the frog by means of coloured light. *Journ. of physiol.* 1904. Vol. XXXI. p. 1—29.

Derselbe, Further observations on the photo-electric responses of the frog eyeball. *Proc. physiol. Soc.* 1903; *Journ. of physiol.* 1904. Vol. XXX. p. I—II.

K. de Haas, Lichtprikkels en retinastroomen in hun quantitatief verband. *Onerz. physiol. Lab. Leiden.* Tweede reeks VI. p. 1—105.

E. Hertel, Über physiologische Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. Vergleichend physiologische Untersuchungen. II. Mitteilung. *Zeitschr.* f. *allg. Physiol.* 1905. Bd. V. S. 95—122.

Derselbe, Einiges über die Bedeutung des Pigmentes für die physiologische Wirkung der Lichtstrahlen. *Ebenda.* 1906. Bd. VI. S. 44—70.

Derselbe, Über den Gehalt verschiedener Spektralbezirke an physiologisch wirksamer Energie. *Zeitschr. f. physikal. diätet. Therapie.* 1906/07. Bd. X.

C. Hess, Über das Vorkommen von Sehpurpur bei Cephalopoden. *Zentralbl. f. Physiol.* 1902. Bd. XVI. S. 91—92.

Derselbe, Beiträge zur Physiologie und Anatomie des Cephalopodenauges. Pflügers *Archiv.* 1905. Bd. CIX. S. 393—439.

Derselbe, Über Dunkeladaption und Sehpurpur bei Hühnern und Tauben. *Archiv f. Augenheilk.* 1907. Bd. LVII. S. 298—316.

Derselbe, Untersuchungen über Lichtsinn und Farbensinn der Tagvögel *Ebenda.* 1907. Bd. LVII. S. 317—327.

Derselbe, Vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes. Wintersteins *Handbuch der vergleichenden Physiologie.*

F. Himstedt und W. A. Nagel, Die Verteilung der Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, mittels Aktionsströmen untersucht. *Ber. d. naturf. Ges. Freiburg.* 1901. Bd. XI. S. 153—162.

Dieselben, Versuche über die Reizwirkung verschiedener Strahlenarten auf Menschen- und Tieraugen. *Festschr. d. Univ. Freiburg z. Reg.-Jub. d. Großherzogs Friedrich.* 1902. S. 257—274.

F. Holmgren, Über Sehpurpur und Retinaströme. (Aus dem Upsala Läkareförenings Förhandlingar übersetzt.) *Unters. a. d. physiol. Inst. Heidelberg.* 1892. Bd. II. S. 81—88. (Mitteil. a. d. Jahre 1878.)

Derselbe, Über die Retinaströme. *Ebenda.* 1880. Bd. III. S. 278—326.

M. Ishihara, Versuch einer Deutung der photoelektrischen Schwankungen am Froschauge. Pflügers *Archiv.* 1906. Bd. CXIV. S. 568—617.

W. A. Jolly, On the electrical response of the frogs eyeball to light. *Quart. Journ. of exp. physiol.* 1909. Vol. II. p. 363—382.

A. Kreidl und M. Ishihara, Photoelektrische Schwankungen an embryonalen Augen. *Zentralbl. f. Physiol.* 1907. Bd. XXI. S. 502.

J. v. Kries, Die Gesichtsempfindungen. Nagels *Handbuch d. Physiologie.* 1904. Bd. III. S. 109—282. Darin besonders: IV. Die Adaption des Sehorganes. Dämmerungs- und Tagessehen usw. S. 168—193.

W. Kühne, Chemische Vorgänge in der Netzhaut. Hermanns *Handbuch d. Physiol.* 1879. Bd. III. S. 235—342.

W. Kühne, Zur Photochemie der Netzhaut. *Unters. a. d. physiol. Institut Heidelberg.* 1878. Bd. I. S. 1—14.

Derselbe, Über die Darstellung von Optogrammen im Froschauge. *Ebenda.* 1878. Bd. I. S. 225—241.

Derselbe, Beobachtungen zur Anatomie und Physiologie der Retina. *Ebenda.* 1882. Bd. IV. S. 280—283.

W. Kühne und J. Steiner, Über das elektromotorische Verhalten der Netzhaut. *Ebenda.* 1880. Bd. III. S. 327—377.

Dieselben, Über elektrische Vorgänge im Sehorgane. *Ebenda.* 1881. Bd. IV. S. 64—168.

W. Nagel, Die Wirkungen des Lichtes auf die Netzhaut. Nagels *Handbuch d. Physiol.* 1904. Bd. III. S. 91—108.

W. Nagel und H. Piper, Über die Bleichung des Sehpurpurs durch Lichter verschiedener Wellenlänge. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* 1905. Bd. XXXIX. S. 88—92.

H. Piper, Über Dunkeladaption. *Ebenda.* 1903. Bd. XXXI. S. 161—214.

Derselbe, Das elektromotorische Verhalten der Retina bei Eledone moschata. *Dies Archiv.* 1904. Physiol. Abtlg. S. 453—474.

Derselbe, Verlauf und Theorie der Netzhautströme. Vorliegende Mitteilung. *Zentralbl. f. Physiol.* 1911. Bd. XXIV. S. 1041—1053.

R. Stigler, Über die Unterschiedswelle im aufsteigenden Teile einer Lichtempfindung. *Archiv f. d. ges. Physiol.* Bd. CXXIII. Bonn 1908.

Derselbe, Chronophotische Studien über den Umgebungskontrast. *Ebenda.* Bd. CXXXIV. Bonn 1910.

H. v. Tappeiner, Die photodynamische Erscheinung (Sensibilisierung durch fluoreszierende Stoffe). *Ergebn. d. Physiol.* 1908. Bd. VIII.

K. Trendelenburg, Über die Bleichung des Sehpurpurs mit spektralem Licht in ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge. *Zentralbl. f. Physiol.* 1904. Bd. XVII. S. 720—723.

Derselbe, Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* 1904. Bd. XXXVII. S. 1—55.

Derselbe, Über das Vorkommen von Sehpurpur und Netzhautstäbchen. *Dies Archiv.* 1904. Physiol. Abtlg. Suppl. S. 228—240.

Derselbe, *Die objektiv feststellbaren Lichtwirkungen an der Netzhaut.* Wiesbaden 1911.

J. v. Uexkuell, Die Libellen. *Zeitschr. f. Biol.* 1905. Bd. L.

A. D. Waller, On the retinal currents of the frogs eye excited electrically. *Proc. Roy. Soc. London.* 1900. Vol. LXVI. p. 327—329.

Derselbe, *Die Kennzeichen des Lebens vom Standpunkt elektrischer Untersuchungen.* Übers. Berlin 1905.

Derselbe, *Note on the latency of the Photoelectrical Response of the Frogs Retina before and after massage of the eyeball.* With two figures in the text.

A. Westerlund, *Eine Modifikation der unpolarisierbaren Elektroden für Versuche mit dem Aktionsstrom des Auges.*

Derselbe, *Einige Beobachtungen über die photoelektrische Potentialverteilung an der Oberfläche eines isolierten Froschauges.*

Erklärung der Abbildungen.

(Tafel I.)

Fig. 1. Netzhautstrom eines enukleierten Auges auf Lichtreiz. Ohne positive Verdunkelungsschwankung. Zeitschreiber markiert je $^1/_5$ Sekunde. Dunkelfrosch im Juni. Reizdauer markiert durch Verschiebung der weißen Linie. Von links nach rechts lesen.

Fig. 2. Netzhautstrom eines enukleierten Auges, welches sich bereits einige Minuten in Chloroformatmosphäre befindet. Noch keine Abschwächung der photoelektrischen Reaktion. Dunkelfrosch im Winter. Von rechts nach links zu lesen.

Fig. 3. Netzhautstrom. Auge eines narkotisierten Dunkelfrosches. Etwa $^1/_2$ Stunde in Ätheratmosphäre. Verlängerung der Latenzzeit der Belichtungsschwankung etwa $^2/_5$ Sekunden. Die Latenz der Verdunkelungsschwankung sehr gering. Dunkelfrosch im Winter. Von rechts nach links lesen.

Fig. 4. Netzhautstrom eines enukleierten Auges, normal. Dunkelfrosch im Juni. Von links nach rechts lesen.

Fig. 5. Netzhautstrom eines enukleierten Auges bei intermittierender Reizung. Die Verschmelzungsfrequenz ist nicht erreicht, jeder Belichtung entspricht eine positive Stufe. Dunkelfrosch im Winter. Von rechts nach links lesen.

Fig. 6. Netzhautstrom eines enukleierten Auges bei zweimaliger Reizung je 1 Sekunde. 15 Minuten in Chloroformatmosphäre. Bei der zweiten Reizung deutliche Verkleinerung der Belichtungsschwankung, Verdunkelungsschwankung unverändert. Dunkelfrosch im Winter. Von links nach rechts lesen.

Fig. 7. Netzhautstromkurve eines enukleierten Auges in Ätheratmosphäre. Die Belichtungsschwankung ist allein übrig geblieben. Dunkelfrosch im Sommer. Von rechts nach links zu lesen.

Zeichenerklärung.

Es bedeuten überall:

A = Änderungsschwankung.
B = Belichtungsschwankung.
H = Helligkeitsschwankung.
V = Verdunkelungsschwankung.

Alle schematischen Kurven sind von links nach rechts zu lesen.

Krümmung und Rippenpfannen der Brustwirbelsäule.

Von

Hans Virchow
in Berlin.

(Mit 10 Figuren im Text.)

Einleitung. — Eines Tages lagen zufällig, als Reste von Präparationen des Situs thoracis, zwei Brustwirbelsäulen, noch verbunden mit den hinteren Abschnitten der Rippen, nebeneinander, die eine sehr wenig gekrümmt, die andere ziemlich stark, aber doch nicht über die Grenzen des „Normalen" hinaus, gebogen. Keine von ihnen bot an sich etwas Besonderes, etwas, was man nicht im Präpariersaalbetriebe häufig zu sehen bekäme; aber indem sie so nebeneinander liegend durch den Gegensatz wirkten, belebten sie bei mir gewisse Vorstellungen, die mir schon längst geläufig waren, und gaben diesen bestimmtere Form.

Seitdem ich mich mit der Wirbelsäule beschäftige, habe ich immer wieder den Wunsch gefühlt, neben dem positiven Neuen, was ich etwa zur Kenntnis derselben beitragen könnte, die Frage der Wirbelsäule und der Wirbelsäulenform von den Fesseln der Dogmatik, des Schematismus und der Deduktion befreit zu sehen, in welche sie durch die Anatomen, welche sich vor 50, 70 Jahren mit ihr beschäftigten, geschlagen worden ist, und welche ihr noch immer anhängen.

Der Grundfehler, welcher damals gemacht wurde, bestand darin, daß das Problem der Wirbelsäule ausschließlich als ein statisches Problem behandelt wurde. Nun ist es zweifellos eine bemerkenswerte Tatsache, daß der Mensch seinen Körper aufrecht, seine Wirbelsäule senkrecht trägt, und es ist gewiß, daß ebenso wie in anderen Verhältnissen seiner Organisation auch in der Wirbelsäule sich Bezüge auf die aufrechte Haltung finden. Aber die in wissenschaftlichen und auch sonstigen Dingen notwendige und selbstverständliche Kritik verlangt doch, daß man sich,

sobald irgend ein Merkmal auf die aufrechte Haltung bezogen wird, frage, ob nicht dieses selbe Merkmal auch ganz anders erklärt werden könne. Wenn also ganz allgemein die eigentümliche Krümmung der Wirbelsäule mit dem nach hinten konkaven Halsteil, nach hinten konvexen Brustteil und wieder nach hinten konkaven Lendenteil aus der aufrechten Haltung erklärt wird, so läßt sich doch dagegen sofort einwenden, daß auch die vierfüßigen Säugetiere, obwohl sie ihre Wirbelsäulen horizontal tragen, also eine ganz andere Statik haben, die gleiche Krümmung zeigen; nicht genau so wie der Mensch, wie sie sich ja auch untereinander nicht völlig gleichen; aber sie zeigen sie doch. Ist es da nicht natürlich, nach einer Begründung zu suchen, die für den Menschen und für die vierfüßigen Tiere in gleicher Weise gelten kann? Niemand, der nicht durch Gewohnheit ganz in der einseitigen statischen Auffassung erstarrt und auf dieselbe eingeschworen ist, wird die Berechtigung dieser anderen Betrachtung bestreiten.

Ich nun finde einen Grund für die nach hinten gerichtete Konkavität der Lendengegend darin, daß die hier dickere Muskulatur günstigere Bedingungen für die Wirkung findet, wenn sie in einer ausgehöhlten Form liegt; und für die nach hinten gerichtete Konvexität der Brustgegend darin, daß die Wirbelsäule an der gewölbten Gestalt des Thorax Anteil nimmt.

Das Letztere wird aufs klarste belegt durch die folgende anatomische Tatsache: die Querfortsätze sind an dem nach hinten ausgebogenen Teil der Brustwirbelsäule nicht einfach nach der Seite, sondern zugleich rückwärts gerichtet, so daß, wie Henle es ausdrückt, eine Linie, welche die Spitzen der Querfortsätze verbindet, die Krümmung der Wirbelsäule übertreibt.[1] Das heißt doch klar, daß die auf der Anwesenheit der Lungen beruhende Neigung zu kugeliger Abrundung auf die Rippen wirkt, daß diese die Querfortsätze rückwärts drücken, und daß die Wirbelkörpersäule dem gleichen Einflusse zwar folgt, aber doch widerwillig folgt, woraus sich denn als logischer Schluß ergibt, daß die Wirbelsäule, wenn sie nicht durch den genannten Einfluß, indirekt also durch die Lungen, zur Ausbiegung genötigt wäre, gerade sein würde.

Man sieht daraus, wenn es auf Logik ankommt, wenn man die Aufgabe auf deduktivem Wege lösen will, daß man mit derselben Logik und Konsequenz bei ganz verschiedenen Schlüssen anlangen kann, je nachdem man die eine oder eine andere Hypothesis wählt.

In dem anregenden und an feinen Beobachtungen reichen Buche von

---

[1] J. Henle, *Handb. d. system. Anat. d. Menschen.* 1. Bd. Knochenlehre. 3. Aufl. 1871. S. 45.

F. Treves und A. Keith (Deutsch von Mülberger)[1] heißt es: „Die Wirbelsäule vereinigt in einer merkwürdigen Weise sehr verschiedene und komplizierte Funktionen. Sie dient dem Körper als der zentrale Pfeiler, welcher das Gewicht des Schädels trägt; sie vereinigt die oberen Segmente des Körpers mit den unteren; an ihr setzen die Rippen an. Sie hat die Fähigkeit, Shockwirkungen, welche von den verschiedensten Stellen des Körpers auf sie übertragen werden, abzuschwächen. Sie ermöglicht in einer wundervollen Art und Weise eine Anzahl der kompliziertesten Bewegungen und bildet schließlich ein solides Rohr, in welchem das Rückenmark sich findet“ (a. a. O. S. 448).

Wieviel frischer, vielgestaltiger, der Wirklichkeit näher klingt dies, wie die Darstellung unserer älteren Anatomen, in welchen nur von der statischen Aufgabe die Rede ist! Und doch ist auch in den Ausführungen der genannten Autoren einiges zu beanstanden, namentlich das, was sie über die Entstehungen der Krümmungen der Wirbelsäule in Übereinstimmung mit früheren Auffassungen behaupten.

Seit langem gibt es zwei „Erklärungen“ für die Form der menschlichen Wirbelsäule, eine teleologisch-mechanische und eine kausal-mechanische. Die teleologisch-mechanische vergleicht die Wirbelsäule mit einer Feder und sagt, daß sie als solche geeignet sei, die in senkrechter Richtung wirkenden Stöße und Erschütterungen elastisch aufzunehmen. Die kausal-mechanische Erklärung behauptet, daß die Wirbelsäule ihre Krümmungen durch die Belastung erhalte, welche die aufrechte Haltung mit sich bringt.

Mechanische Erklärungen sind nicht immer sehr tiefsinnig — einer der Gründe für ihre Beliebtheit. Diejenigen aber, welche die beiden vorbenannten Erklärungen nebeneinander im Munde führen, haben sich wohl niemals gesagt, daß sie damit etwas Entgegengesetztes, ja sich geradezu Ausschließendes behaupten, denn auf der einen Seite wird gesagt, daß die Wirbelsäule eine Gestalt habe, welche sie befähigt, der Belastung in zweckmäßiger Weise zu widerstehen, und auf der andern Seite, daß sie gerade diese Gestalt durch die Belastung erhalte.

Ich verschließe mich an sich keiner der beiden Betrachtungen. Ich gebe auf der einen Seite zu, daß die Federform, da sie einmal da ist, geeignet sein mag, Erschütterungen zu dämpfen, aber ich sehe in diesem Nutzen nicht die Ursache für die Form; und ich räume auf der andern Seite ein, daß die Belastung einen gewissen Einfluß auf die individuelle Gestalt haben kann; aber ich kann doch nicht an der allen Ärzten bekannten

---

[1] Berlin 1914.

Tatsache vorübergehen, daß gerade in solchen Fällen, in welchen dieser Einfluß am wenigsten gehemmt zur Geltung gelangt, schwere Störungen der Form entstehen, daß also jedenfalls die Belastung allein nicht die normale Gestalt herbeiführen kann.

Ich gebe in Figg. 1 und 2 zwei Wirbelsäulen in Eigenform, die eine die eines dreijährigen Kindes, die andere die eines Dreiundzwanzigjährigen. Dieselben sind, um sie vergleichbar zu machen, in verschiedenem Maße verkleinert, so daß sie auf dieselbe Länge gebracht sind. Man wird sich vergeblich bemühen, einen Unterschied in ihrer Krümmung aufzufinden. Dabei stellen sie nichts Ungewöhnliches dar; weder ist die des Kindes besonders stark, noch die des Erwachsenen besonders wenig gekrümmt. Ich halte mich wenigstens nach den in meinen Händen befindlichen nach Eigenform aufgestellten Wirbelsäulen jugendlicher Erwachsener für berechtigt, zu behaupten, daß eine so geringe Krümmung bei diesen nicht aus dem Typus herausfällt.

Dagegen trifft man auf der anderen Seite an den Wirbelsäulen Erwachsener, insbesondere am Brustteil derselben, sehr erhebliche Verschiedenheiten im Grade der Krümmung, neben gestreckten von der Art der eben vorgeführten, erheblich gebogene, auch bei solchen Menschen, die nie an einer Krankheit der Knochen oder der Muskeln oder der Nerven gelitten haben.

Am häufigsten sind diese stark gebogenen Formen bei alten Leuten, ja sie sind hier geradezu als typisch zu bezeichnen. Daher müssen auch diese „Alterskyphosen“ in die Untersuchung einbezogen werden, um letzterer ihre natürliche Abrundung zu geben; und ich habe demgemäß auch die Wirbelsäule eines Greises in Eigenform zusammensetzen lassen.[1]

Sammelstellen derartiger runder Rücken sind die Altersheime und Pfründenanstalten, und dort kann man sich auch durch die Beobachtung der Lebenden eine anschauliche Vorstellung von der Kausalität dieser Wirbelsäulenform verschaffen. Der alte Mensch, insbesondere wenn er von beschränkter Bildung, von beschränktem Intellekt ist, hat nur noch ein schwaches Interesse an der umgebenden Welt; er hat so vieles gesehen, oder richtiger, dasselbe so oft wiedergesehen, daß es ihn nicht mehr anzieht; er dämmert dahin, den Blick vor sich auf den Boden gerichtet, wozu ihn auch der Wunsch, bei der Unsicherheit seiner Bewegungen den Weg mit den Augen zu suchen, veranlaßt. Die Schwäche seiner Muskulatur ist nicht der einzige Grund, oft nicht einmal der Hauptgrund für seine fehlerhafte Haltung, sondern sein runder Rücken ist wesentlich durch seelische Momente bedingt.

[1] *Berl. klin. Wochenschr.* 1907. Nr. 39 u. 40. Fig. 2.

Fig. 1.
Halbierte Wirbelsäule eines dreijährigen Mädchens in Eigenform.



Fig. 2.
Halbierte Wirbelsäule eines 23 jährigen Mannes in Eigenform.

Was uns beim Greisenrücken in typischer Weise entgegentritt, kommt nun aber auch bei Leuten, welche ihrem Lebensalter nach noch weit vom Greisenzustand entfernt sind, außerordentlich häufig vor, ja nimmt seinen Anfang oft schon bei Jugendlichen; sogar bei Kindern. Diese Form kann als „Nachlässigkeitskyphose" bezeichnet werden. Lebensweise und Beschäftigung begünstigen dieselbe („Beschäftigungskyphose"). Für den Anatomen kommt besonders der „Mikroskopikerrücken" in Betracht, für welchen ich mehrere charakteristische Beispiele aus meiner persönlichen Bekanntschaft anführen kann.

Aus den vorausgehenden Betrachtungen ergibt sich die wichtige Bemerkung, daß die Eigenform der jugendlichen Wirbelsäule, obwohl letztere weicher, biegsamer ist, doch eine mehr gerade ist, daß dagegen die Eigenform der älteren Wirbelsäule, obwohl diese steifer, starrer und daher besser geeignet ist, von sich aus der Belastung zu widerstehen, doch stärker gekrümmt ist.

Übrigens äußert sich das Verständnis für diese anatomische Tatsache durchaus im praktischen Leben. Wenn Eltern und Erzieher den ihnen anvertrauten Kindern zurufen: „Haltet euch gerade!", so bekunden sie damit ein Verständnis dafür, daß die noch nachgiebige und daher den Verunstaltungen durch Belastung besonders ausgesetzte Wirbelsäule des Kindes in verstärktem Maße einer Überwachung durch die Muskeln bedarf. Was der Anatom hinzuzutun hat, ist, daß er durch Feststellung der Eigenform der Wirbelsäule und ihrer mechanischen Eigenschaften der Betrachtung einen festen und klaren Kern verschafft. Die Anatomen haben jedoch diese Aufgabe nicht erfüllt. Anstatt von Hunderten von Wirbelsäulen Jugendlicher und Erwachsener die Eigenform festzustellen und sie der Analyse zu unterwerfen, haben sie, im Kielwasser Hermann von Meyers weitersegelnd, den kraftlosen Phantomen einer „Normalhaltung" und „natürlichen Haltung" nachgejagt und sind in der Verwirrung, welche schon von Anfang an durch diese Begriffe herbeigeführt worden war, verstrickt geblieben.

Von den Abschnitten der Wirbelsäule hat der Brustteil noch ein besonderes Interesse wegen der Beziehung zu den Rippen. Wenn zwei Brustwirbelsäulen erheblich verschiedene Krümmungen haben, so kann dies nicht ohne Einfluß bleiben auf das Verhältnis zu den Rippen. Rein logisch betrachtet ist zweierlei möglich: Entweder bleibt der Ansatz der Rippen an die Wirbelsäule der gleiche, dann müssen die vorderen Enden der Rippen bei der geraden Wirbelsäule auseinander gespreizt, bei der gebogenen zusammengedrängt sein, oder die Beziehungen der Rippen zu-

einander bleiben die gleichen; dann müssen diese an die gerade Wirbelsäule anders wie an die gebogene ansetzen.

Tatsachen, Betrachtungen und Fragen der im vorausgehenden erwähnten Art und noch andere, auf welche ich hier nicht eingehe, um nicht die Einleitung zu dehnen, steckten mir schon lange im Sinne und verlangten Gestaltung und Verknüpfung. Die Aufforderung dazu trat mir besonders lebhaft entgegen, als zufällig die beiden oben erwähnten Brustwirbelsäulen nebeneinander lagen.

Indem ich dieser Aufforderung folge, kann es sich aber doch nur darum handeln, die in Betracht kommenden Probleme zu klären und voneinander abzugrenzen. Von einer endgültigen Lösung der Aufgaben kann noch lange nicht die Rede sein; dazu sind dieselben viel zu ausgedehnt und viel zu verwickelt.

Aufgaben. — Ich habe es in vorliegender Arbeit hauptsächlich mit zwei Aufgaben zu tun, die sich in folgender Weise bezeichnen lassen: erstens Beziehungen zwischen der Form der Wirbelkörper und der Gestalt der Wirbelsäule, und zweitens Beziehungen zwischen den Rippenpfannen und der Gestalt der Wirbelsäule.

Material. — Die beiden Wirbelsäulen, welche die Grundlage meiner Besprechung bilden, sind in Figg. 3 und 4 dargestellt. Es sind hier die Wirbelhälften nach der Mazeration in Eigenform vereinigt. Das Charakteristische der Gestalt tritt noch schärfer hervor, wenn man nur die Vorderseiten auf Papier überträgt und von der oberen Kante von *t.* 1 zur unteren Kante von *t.* 12 eine Gerade als Sehne zum Bogen zieht (Figg. 5 u. 6). Wesentlich gesteigert wird das Verständnis dieser Figur dadurch, daß man von der Sehne ein Lot zu der Bandscheibe zwischen 6. und 7. Brustwirbel zieht. Die Sehne mißt an der geraden Säule 257 mm (die Summe der vorderen Höhen der Wirbelkörper 227,5 mm), an der gebogenen Säule 244 mm (die Summe der vorderen Höhen der Wirbelkörper 236 mm); das Lot bei der geraden Säule 18 mm, bei der gebogenen 42 mm; der Index von Sehne und Lot, wobei die Sehne gleich 100 mm gesetzt ist, bei der geraden Säule 7, bei der gebogenen 17·2

Gegenüber diesen Unterschieden beider Säulen gibt es aber auch Übereinstimmungen. Setzt man die Sehne in beiden Fällen gleich 100 und rechnet den oberhalb und den unterhalb des Lotes gelegenen Abschnitt daraufhin um, so ergibt sich Gleichheit, wie folgende Zahlen zeigen:

Rohzahlen.

	Gerade Säule	Gebogene Säule
Oberes Stück der Sehne	113 mm	109 mm
Unteres „ „ „	144 „	135 „

Umgerechnete Zahlen.

	Gerade Säule	Gebogene Säulc
Oberes Stück der Sehne	44	45
Unteres „ „ „	56	55

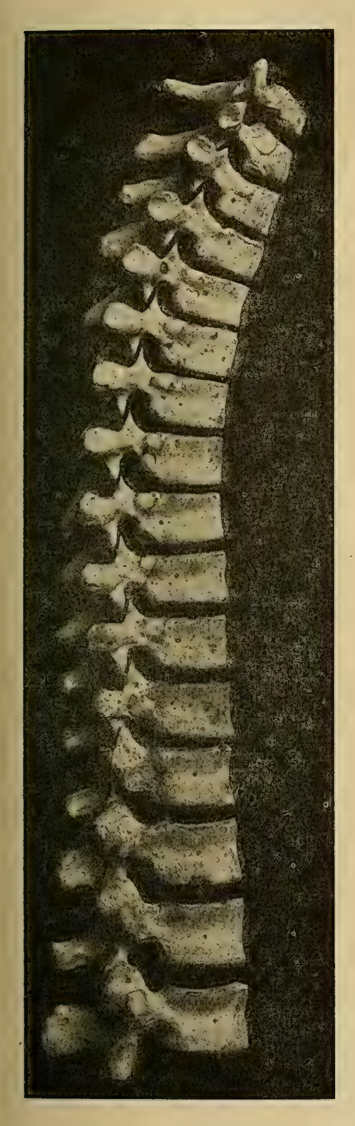


Fig. 3.
Die wenig gekrümmte Brustwirbelsäule (nebst 7. Halswirbel und den 3 ersten Lendenwirb.) in Eigenform.

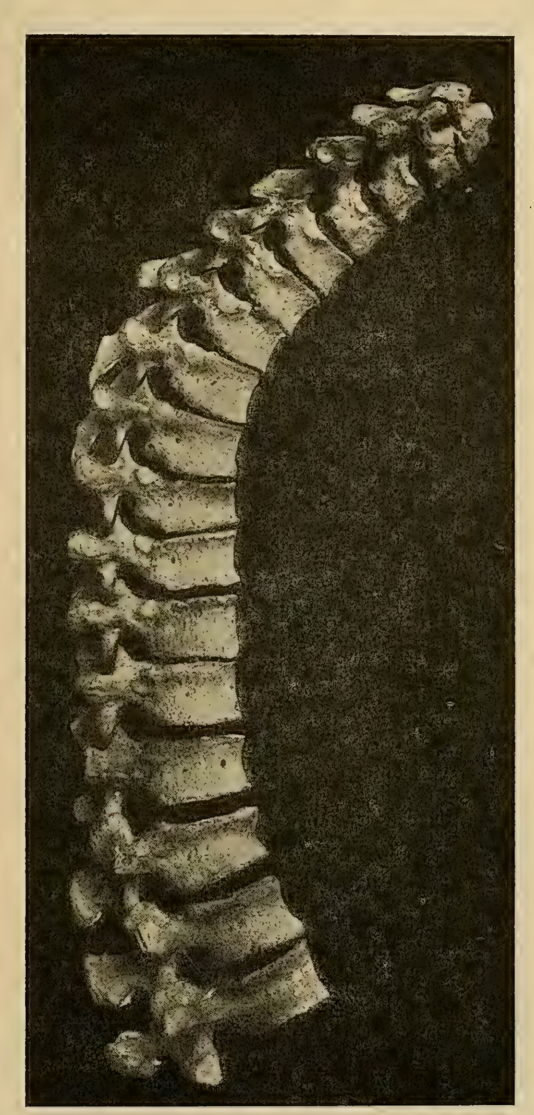


Fig. 4.
Die stark gekrümmte Brustwirbelsäule (nebst den 2 letzten Hals- und 3 ersten Lendenwirbeln) in Eigenform.

Die Sehne wird also durch das Lot in beiden Fällen gleich geteilt. Ferner trifft in beiden Fällen das Lot den Scheitel des Bogens, und in beiden Fällen unterscheiden sich der obere und der untere Abschnitt des Bogens in gleicher Weise dadurch, daß das obere Bogenstück stärker und das untere flacher gekrümmt ist.

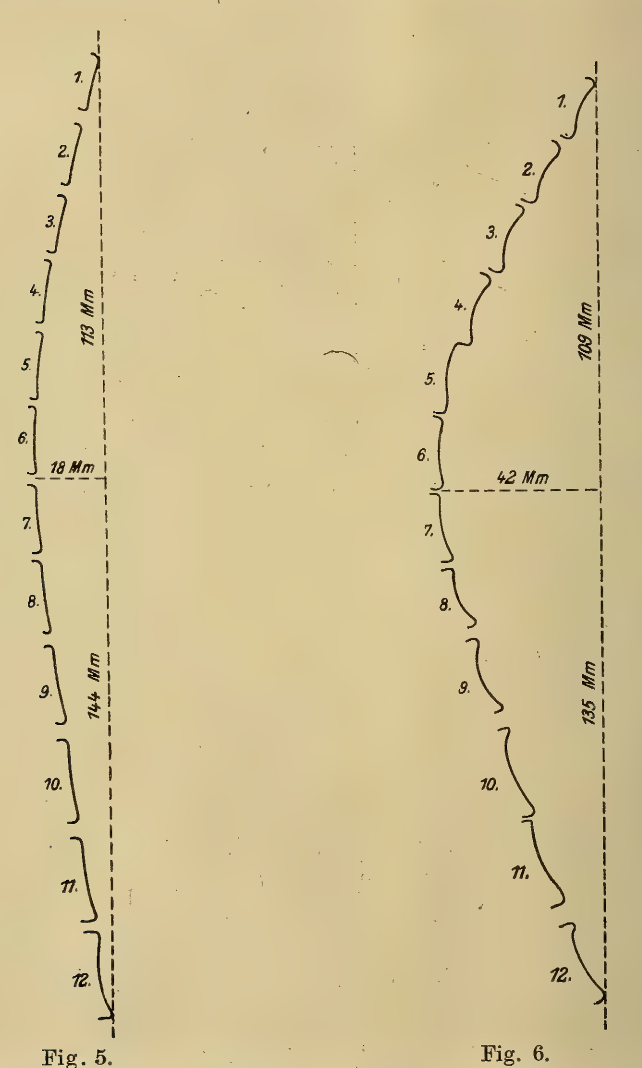


Fig. 5.
Vorderseite der in Fig. 3 dargestellten Brustwirbelsäule nebst Sehne zu dem durch dieselbe gebildeten Bogen und Lot vom Scheitel des Bogens auf die Sehne.

Fig. 6.
Vorderseite der in Fig. 4 dargestellten Brustwirbelsäule nebst Sehne und Lot wie in Fig. 5.

Daß es sich so in allen Fällen verhalte, soll damit nicht gesagt werden; aber es kommt ja hier nicht darauf an, auf Grund einer festgestellten Methodik Untersuchungen an einem Material zu machen, über welches wir etwas Bestimmtes erfahren wollen, sondern vielmehr, die Methodik zu finden und zu prüfen, welche uns in den Stand setzen soll, das Material zu sammeln und zu analysieren.

Ich werde die beiden Säulen, wie es schon im Vorausgehenden geschehen ist, der Kürze halber als „gerade Säule“ und als „gebogene Säule“ bezeichnen und hoffe, daß daraus keine Mißverständnisse hervorgehen werden. Insbesondere bemerke ich, daß die zweite Säule nicht etwa für die Untersuchung künstlich gebogen wurde, sondern daß sie sich so vorfand, wie sie in der Fig. 2 dargestellt ist.

Das Material ist kein gutes, insofern als es nicht von frischen Leichen genommen wurde. Die letzteren waren vorher injiziert und aufbewahrt, also in einem gewissen Grade der Härtung. Außerdem ist der Situs thoracis beim Präpariersaalbetriebe immer das letzte, was an die Reihe kommt, und er ist, da die Studierenden ihren Gewohnheiten gemäß mit dem Material nicht sehr achtungsvoll umzugehen pflegen, der Gefahr der Trocknung ausgesetzt. Die „Eigenform“, welche bei einer strengeren Untersuchung zugrunde gelegt werden müßte, ist also in diesen Fällen nicht voll gewährleistet. Ich will auch noch hinzufügen, daß ich nichts über Lebensalter, Konstitution und Todesursache anzugeben weiß. Aber alle diese Mängel verringern nicht den Wert der beiden Wirbelsäulen für meine Zwecke, wie sie im vorausgehenden gekennzeichnet sind.

Methode. — Ich habe die Methode zur Hilfe herangezogen, welche ich schon oft für Wirbeluntersuchungen angewendet habe, die Aufstellung nach Form. Obwohl ich diese Methode schon beschrieben habe, so muß ich es doch hier wieder tun, um damit dem Leser die nötigen Grundlagen für die Kritik zu bieten Die Methode besteht in Kürze aus folgenden Bestandteilen:

a) Die Knochen werden so weit sauber geschabt, daß man eine scharfe Form gewinnen kann, jedoch unter sorgfältiger Schonung der Bänder;

b) es wird Gipsform genommen;

c) die Knochen werden durch Mazeration getrennt und gesäubert;

d) an den isolierten Wirbeln werden die nötigen Untersuchungen und Messungen gemacht und verzeichnet;

e) die einzelnen Wirbel werden mit der Laubsäge halbiert;

f) je eine Wirbelhälfte wird in die Form eingelegt und mit den übrigen durch Stifte vereinigt;

g) falls es für den besonderen Zweck der Untersuchung erforderlich ist, auf den Schnittflächen Orientierungslinien oder Meßmarken anzubringen, so werden die Schnittflächen mit einem Überzuge versehen, auf welchem man mit scharfem Strich schreiben kann. Zu diesem Zwecke werden zuerst die Räumchen der Spongiosa mit einem Gemisch von Gips und Leim ausgeschmiert und dann die Fläche mit Zinkweiß überstrichen.

Mängel der Bildung. — Bevor ich an meine Aufgabe herangehe, muß ich noch eine Angelegenheit besprechen, welche für die kritische Beurteilung von Messungen an der Wirbelsäule von der größten Bedeutung ist. Schon vor Jahrzehnten, sobald man überhaupt anfing, genauere, d. h. messende Untersuchungen an der Wirbelsäule zu machen, hat man es mißbilligend vermerkt, daß vielfach an den Wirbeln kleinere und größere „Fehler der Ausführung" vorkommen, durch welche die Zuverlässigkeit der Maße beeinträchtigt wird. Solche Fehler trifft man in der Tat überreichlich. Kein Teil der Wirbel ist von ihnen frei; sie finden sich an Körpern, Bogen, Dornfortsätzen, Querfortsätzen, Gelenkfortsätzen, Rippenpfannen. Bedenkt man, daß die Unterschiede von Wirbel zu Wirbel sich z. T. nur in Bruchteilen von Millimetern bewegen, und daß die Fehler 1 oder 2 oder selbst mehr Millimeter betragen können, so wird begreiflich, daß durch die hierdurch hervorgerufene Unsicherheit die Einsicht in manche feinere Verhältnisse verhindert wird, und daß man wohl schon tiefer in das Verständnis der Wirbelsäule eingedrungen wäre, wenn solche Fehler nicht beständen. Ich werde von diesen Unvollkommenheiten im folgenden so weit sprechen, als es durch die Absichten der vorliegenden Arbeit geboten ist. Ich bemerke nur noch das Eine, daß, wenn man von Fehlern der Ausführung spricht, damit nicht gesagt sein soll, daß es sich um angeborene Fehler handelt oder solche, welche durch die Anlage gegeben sind. Solche mögen wohl auch gelegentlich vorkommen; die meisten aber sind erworben, im späteren Leben entstanden. Das geht schon daraus hervor, daß sie an jugendlichen Wirbelsäulen seltener sind, während wohl keine etwas ältere Wirbelsäule davon gänzlich frei ist.

A. Beziehung zwischen Höhen der Wirbelkörper und Gestalt der Brustwirbelsäule.

Man wird es für selbstverständlich halten, wenn man die vorderen und hinteren Höhen an den einzelnen Wirbelkörpern mißt, die Differenzen der vorderen und hinteren Höhen ausrechnet und alle Differenzen zusammenzählt, daß dann die Summe der letzteren bei der gebogenen Säule

größer ist wie bei der geraden. Wir werden sehen, wie es damit in unserem Falle steht.

	Gerade Wirbelsäule			Gebogene Wirbelsäule		
	vordere Höhe mm	hintere Höhe mm	Differenz mm	vordere Höhe mm	hintere Höhe mm	Differenz mm
t. 1	14	16	2	16	17·5	1·5
2	17	17	0	17	18	1
3	15·5	18	2·5	18	17·5	−0·5
4	17·5	18·5	1	19	18·5	−0·5
5	18	19	1	18·5	20·5	2
6	18	20	2	20	20	0
7	19	21	2	18·5	21·5	3
8	20	21	1	16	21·5	5·5
9	21	20	−1	22	19	−3
10	22	21	−1	24·5	21	−3·5
11	22·5	22·5	0	24	22	−2
12	23	24·5	1·5	22·5	26·5	4
	Summen der Differenzen		11			7·5

Die Summe der Differenzen ist also an der gebogenen Säule geringer als an der geraden. Dieses paradoxe Ergebnis ist der Hauptsache nach durch einen Umstand bedingt, welcher schon beim Messen an den nicht halbierten, also auch noch nicht in Form zusammengesetzten Wirbeln bemerkt wurde, nämlich durch mediane senkrechte Einkerbungen an den hinteren oberen Rändern der Wirbelkörper der acht ersten Wirbel; außerdem durch Erhebungen an den vorderen Kanten.

Ein solcher Befund müßte niederschlagend wirken, wenn man auf denselben bestimmte Schlüsse begründen wollte. Man denke nur, daß nicht vorher die Formen genommen wären, und daß man aus den Differenzen der Höhen die Krümmung der Säule berechnen oder konstruieren wollte; man würde doch unfehlbar die gerade Säule für die stärker gebogene und die gebogene für die weniger gekrümmte halten müssen. Für die vorliegende Untersuchung aber, welche kritische Zwecke verfolgt, ist der Befund nicht unerwünscht, sondern im Gegenteil mit Freude zu begrüßen, weil er zur Vorsicht mahnt und daraufhin führt, die Beziehungen zwischen den Höhen und der Gestalt der Säule schärfer ins Auge zu fassen.

R. Martin hat in seinem Lehrbuche der Anthropologie darauf aufmerksam gemacht, daß durch Knochenwucherungen an den vorderen Kanten der Wirbelkörper die sagittalen Maße vergrößert werden können.[1]

[1] R. Martin, *Lehrbuch der Anthropologie*. Jena 1914. S. 897.

Dies ist aber nur einer von den Punkten, die zu beachten sind, und nur der gröbste. Was hier zu erwähnen ist, ist viel mannigfaltiger: die Auflagerungen auf die vorderen Kanten ragen nicht nur vorwärts, sondern auch aufwärts, vergrößern also nicht nur die Dicke, sondern auch die Höhe; es werden nicht nur Erhöhungen der vorderen Ränder, sondern auch Erniedrigungen derselben getroffen, wie z. B. die „Abwetzung“, auf welche ich bei früheren Gelegenheiten die Aufmerksamkeit gelenkt habe[1]; es kommen nicht nur Veränderungen an den vorderen Rändern, sondern auch solche an den hinteren Rändern vor, wie soeben von unserer gebogenen Säule mitgeteilt wurde; die Veränderungen betreffen nicht nur die Ränder, sondern auch die Wirbelkörper in ihrer ganzen Höhe bzw. die mittleren Abschnitte derselben. Daraufhin müssen wir unser Material noch etwas genauer mustern.

An der Abbildung unserer gebogenen Säule (Fig. 4) ist leicht zu sehen, daß die Keilform der Wirbelkörper am stärksten an *t.* 8 und *l.* 1 hervortritt. Dies spricht sich scharf in den Maßen aus.

t. 8.

	Vordere Höhe	Hintere Höhe	Differenz
Gerade Säule	20 mm	21 mm	1 mm
Gebogene Säule	16 „	21·5 „	5·5 „

l. 1.

	Vordere Höhe	Hintere Höhe	Differenz
Gerade Säule	25 mm	25·5 mm	0·5 mm
Gebogene Säule	20 „	27 „	7 „

Dabei ist zu bemerken, daß, wie oben gesagt, an *t.* 8 der gebogenen Säule der hintere Rand eingekerbt ist, ohne welchen Umstand die Differenz noch größer wie 5·5 sein würde. Hier liegen also anscheinend Abnahmen der vorderen Höhen vor im Körper selbst, welche durch Erniedrigung infolge fehlerhafter Haltung zustande gekommen sind. Ob nun gerade die beiden genannten Wirbel, *t.* 8 und *l.* 1, häufiger von solchen Veränderungen betroffen sind wie andere Wirbel, müßte durch den Vergleich mit anderen Fällen entschieden werden.

Was die Veränderung der sagittalen Durchmesser der Wirbelkörper durch die Haltung der Wirbelsäule betrifft, so ziehe ich hier eigene frühere Mitteilungen heran: einerseits die senilkyphotische Brustwirbelsäule, bei

[1] „Über den Lumbar-Index“ in *Zeitschr. f. Ethnol.* 1914. S. 146—154; vgl. dort S. 151; und „Abwetzung an den Endflächen der Wirbelkörper“. *Berl. klin. Wochenschr.* 1916. Nr. 38.

welcher der sagittale Durchmesser vergrößert ist (a. a. O.), andrerseits die lordotische Brustwirbelsäule, bei welcher die sagittalen Durchmesser der Wirbelkörper verkleinert sind (a. a. O.). Namentlich das letztere ist so ungemein auffallend, daß sich darin eine starke Abhängigkeit der Maße von den Belastungsbedingungen ausspricht. Ich habe deswegen auch im vorliegenden Falle auf diesen Umstand geachtet, habe aber keinen sicheren, wenn auch möglichen Einfluß der Belastung auf den sagittalen Durchmesser feststellen können. Das zeigen die folgenden Angaben. Ich habe mich dabei auf drei Wirbel beschränkt, je einen vom oberen Ende, vom unteren Ende und aus der Mitte der Reihe, welche auch an der gebogenen Säule frei von Verdickungen der vorderen Ränder und dadurch für genaue Messung geeignet waren. Die Bestimmungen sind an den oberen Endflächen gemacht.

Sagittaler Durchmesser.

	Gerade Säule	Gebogene Säule
t. 2	18 mm	20·5 mm
t. 7	25·5 „	30 „
l. 2	31·5 „	38 „

Rechnet man dies um auf Indizes und setzt man dabei jedesmal die Dicke des Wirbels der geraden Säule gleich 100, so beträgt die der Wirbel der gebogenen Säule bei

t. 2	113·9
t. 7	117·6
l. 2	120·6

Das sieht ja allerdings so aus, als nehme der sagittale Durchmesser nach unten hin, also mit zunehmender Belastung, bei der gebogenen Säule zu; aber es sind hier auch die Breitenmaße zu berücksichtigen. Diese betragen für die gleichen Wirbel, ebenfalls an den oberen Endflächen gemessen, bei der

	geraden Säule	gebogenen Säule
für *t.* 2	26·0 mm	25·5 mm
„ *t.* 7	28 „	32 „
„ *l.* 2	40·5 „	47 „

Hieraus ergeben sich die Indexzahlen, wenn man wieder die Maße der Wirbel der geraden Säule gleich 100 setzt, für die Wirbel der gebogenen Säule

bei *t.* 2	98·1
„ *t.* 7	114·3
„ *l.* 2	116

Das ist zwar nicht ganz genau das gleiche wie vorher, aber doch etwas Ähnliches insofern, als der Index bei *t*. 2 der Zahl 100 näher steht und sich bei den unteren Wirbeln weiter davon entfernt. Damit tritt die Erwägung auf, ob es sich nicht um einen von vornherein anderen Typus handle, bei welchem die unteren Wirbel kräftiger sind wie bei der geraden Säule, die oberen aber in den Maßen mehr übereinstimmen; und damit wäre in unsere Betrachtung ein neuer Faktor eingeführt, der doch auch, jedenfalls als Möglichkeit, Beachtung verdient und die schon so schwierige und so wenig durchsichtige Frage der Wirbelkörpermaße noch weiter kompliziert.

Und damit wende ich mich an die Adresse der Anthropologen. Wirbelkörper messen ist leicht, und wenn man die Maße der einzelnen Wirbel zusammenschreibt, so erhält man schöne Tabellen. Aber diese Tabellen haben so lange keinen Wert, als sie nicht kritisch gesichtet sind. Es ist jedoch sehr schwierig zu wissen, welche verschiedenen Umstände jedesmal auf die Maße Einfluß haben, wie viele solcher Umstände es gibt und wie stark ihre Einwirkung in jedem Falle ist. Das Schlimmste aber ist, daß wir es gar nicht in der Hand haben, diese Einsicht durch scharfes Nachdenken zu erzwingen, sondern wir dürfen nur hoffen, daß uns bei fortgesetzter Beschäftigung mit dem Gegenstande allmählich die einzelnen Umstände beifallen werden.

Höhen der Zwischenwirbelscheiben. — Wirbelkörper und Zwischenwirbelscheiben bilden zusammen die Wirbelkörpersäule. Daher verlangt die vorausgehende Betrachtung zu ihrer Ergänzung eine solche der Höhen der Scheiben, welche an unseren Präparaten wiedergegeben sind durch die Abstände zwischen den Wirbelkörpern.

Messungen von Zwischenwirbelscheiben sind nur von wenigen Anatomen gemacht worden, und diese wenigen haben immer nur wenige Fälle, meistens deren nur einen untersucht. Daher kommt es, daß über Art und Zuverlässigkeit von Messungen an Zwischenwirbelscheiben keine klaren, gesichteten Vorstellungen bestehen. Mit dieser kritischen Aufgabe werde ich mich im folgenden beschäftigen, da die von mir geübte, im vorausgehenden beschriebene Methode die Möglichkeit einer klaren Einsicht in die in Betracht kommenden Verhältnisse bietet, welche ohne dieselbe nicht besteht.

Fehlermöglichkeiten. — Es gibt bei meiner Methode zwei Möglichkeiten zu Fehlern oder doch kleinen Ungenauigkeiten:

a) es kann vorkommen, daß die Lager für die einzelnen Knochen nicht hinreichend scharf und umfassend sind;

b) es kann sich ereignen, daß beim Zusammenstiften der Wirbel in der Form eine leichte Verschiebung durch Druck oder Schlag stattfindet.

Solche kleinen Ungenauigkeiten sind zwar dann nicht störend, wenn man nur etwas über die Summe der Höhen aller Bandscheiben wissen will; denn wenn sich der Abstand eines Wirbels von dem einen Nachbarn vergrößert, so verkleinert er sich um ebensoviel von dem anderen. Die Fehler gleichen sich also vollkommen aus. Will man jedoch etwas Zuverlässiges über die Höhen der einzelnen Zwischenwirbelscheiben wissen, so müssen Fehlermöglichkeiten ausgeschlossen werden, und das läßt sich auch in folgender Weise erreichen: nach dem Schaben, aber vor dem Formen, werden mittels des Drillbohrers durch jeden Wirbel zwei Bohrungen in voneinander abweichenden Richtungen gemacht; dann, während die Wirbelsäule in dem Gips liegt und dieser bereits steif, aber noch nicht starr ist, werden die Bohrungen in die Form hinein fortgesetzt. Diese Bohrungen kann man dann benutzen, um nach dem Ausmazerieren die Knochen vollkommen sicher in ihrer Lage festzumachen. Nach dieser Verbesserung wird man sich hoffentlich um so mehr mit der Methode befreunden, wenn man sich von ihrer Unerläßlichkeit überzeugt hat.

Die letztere zu erweisen ist meine nächste Aufgabe.

An der frischen Säule lassen sich nur die vorderen Höhen der Zwischenwirbelscheiben messen, aber nicht die hinteren, denn an diese kann man wegen der Bogen nicht herankommen; und auch die vorderen Höhen lassen sich nicht einwandfrei bestimmen aus zwei Gründen. Der eine derselben besteht darin, daß die Zwischenwirbelscheiben mit der Knochenhaut und mit dem vorderen gemeinsamen Längsband zusammenhängen, so daß es nicht möglich ist, die Grenzen so genau zu bestimmen, um auf Bruchteile von Millimetern messen zu können. Der zweite Grund läßt sich erst an den nach meiner Methode hergerichteten Präparaten mit völliger Klarheit erkennen, bzw. drängt sich erst dann mit solcher Deutlichkeit hervor, daß man nicht an ihm vorbeikommen kann. Ich gebe in Fig. 7, um die Deutlichkeit noch zu steigern, die einander zugewendeten Abschnitte der Körper von *t.* 11 und *t.* 12 der geraden Säule in doppelter Vergrößerung. Die beiden schwarzen Marken zeigen die Stellen an, bis zu welchen an der Oberfläche die Zwischenwirbelscheibe reicht, und man wird nun sofort die schwierige Lage erkennen, in welcher sich derjenige befindet, der die vordere Höhe der Bandscheibe zu messen wünscht.

Wären die Endflächen der Wirbelkörper eben und stießen dieselben mit der Mantelfläche in scharfen Kanten zusammen, so wäre über die Meßpunkte kein Zweifel. Aber beide Bedingungen sind nicht erfüllt: die Endflächen sind nicht eben, und der Übergang derselben in die Mantel-

fläche vollzieht sich in sanfter Rundung. Daher ergeben sich für die Messung zwei Möglichkeiten: entweder man mißt an der Oberfläche, also in unserem Falle zwischen den beiden schwarzen Marken (Fig. 7), oder man mißt etwas hinter der Oberfläche, dort, wo die Knochen sich am meisten annähern. In unserem Falle würde das eine Maß 7·5 mm und das andere 3 mm betragen. Man sieht wohl ein, daß es sich bei der Entscheidung nur um Vereinbarung handeln kann. Am richtigsten, d. h. am meisten logisch würde es wohl sein, sowohl die eine wie die andere Höhe zu messen und das Mittel zwischen beiden zu nehmen, also in unserem Falle 5,25 mm.



Fig. 7.
Zwischenraum zwischen den Körpern des 11. und 12. Brustwirbels der in Fig. 3 dargestellten Säule auf dem Medianschnitt, aufs Doppelte vergrößert. Die Schnittflächen sind mit einem Überzuge von Leim und Gips versehen, auf dem sich schreiben läßt. Die beiden schwarzen Marken bezeichnen die Grenze der Zwischenwirbelscheibe an der Oberfläche.

Doch scheint mir, daß die folgende Erwägung den Ausschlag geben muß: wenn man, wie es ganz allgemein geschieht, zur Bestimmung der Höhen der Wirbelkörper die am weitesten nach oben bzw. nach unten vorspringenden Punkte der Knochen (der Epiphysenringe) wählt, so muß man auch dieselben Punkte zur Bestimmung der Höhen der Zwischenwirbelscheiben benutzen, denn sonst würde die Summe der Höhen der Wirbelkörper und der Zwischenwirbelscheiben beträchtlicher sein als die Höhe der ganzen Wirbelsäule. Nach diesem Verfahren sind daher auch die Maße in der gleich mitzuteilenden Tabelle gewonnen.

Nun über die hinteren Höhen.

Wie schon bemerkt, ist an dieselben an der frischen Säule nicht heranzukommen. Es gäbe dazu nur zwei Wege: entweder die Entfernung der Bogen und Zwischenbogenbänder, um von hinten her die Zwischenwirbelscheiben zugänglich zu machen, oder die mediane Durchsägung der Säule. Beide Wege sind jedoch nicht gangbar.

a) Sägt man die Bogen ab und entfernt damit die elastischen Zwischenbogenbänder, so nimmt man eine Kraft fort, welche die Wirbelsäule nach hinten zieht. Ich benutze seit mehr als dreißig Jahren Pappschablonen, um die Veränderungen in der Gestalt der Wirbelsäule zu zeigen, welche eintreten, wenn man nacheinander die Bogen, das hintere gemeinsame Längsband und das vordere gemeinsame Längsband entfernt.[1] Von diesen benutze ich in Fig. 8 die beiden, welche die Gestalt der unbeeinflußten Säule und diejenige nach Entfernung der Bogen zeigen.

b) Durchsägt man eine frische Säule median, so treten, wie jeder Anatom weiß, auf der Schnittfläche die Kerne der Zwischenwirbelscheiben hervor. Damit ist gesagt, daß nun, indem die Kerne, von der Umschließung befreit, die Wirbelkörper nicht mehr in gewohnter Weise auseinanderdrängen können, die letzteren einander genähert werden. Und es ist nicht einmal zu erwarten, daß dies vorn und hinten gleichmäßig geschieht, da die Faserringe vorn dicker sind als hinten. Es müßte jedenfalls, um über diesen Punkt und damit über die Formänderung der Säule ins Reine zu kommen, erst einmal eine sehr sorgfältige kritische Untersuchung stattfinden, an welche meines Wissens bisher noch niemand gedacht hat.

Ich will, um zwei weitere falsche Wege zu verbauen, auf welche sich vielleicht ein Untersucher verirren könnte, noch folgendes bemerken:

a) Man darf nicht etwa, um das Vorquellen der Kerne der Zwischenwirbel-

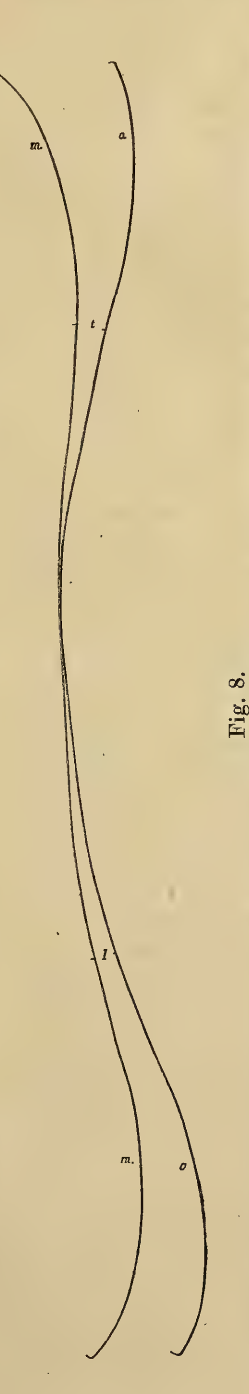


Fig. 8. Vorderseite einer frischen Wirbelsäule, erst mit Bogen (*m*), dann ohne Bogen (*o*). Die Vorderseite ist nach rechts gewendet. Durch Entfernung der Bogen wird die Krümmung vergrößert. *t* Grenze von Halsteil und Brustteil, *l* Grenze von Brustteil und Lendenteil.

[1] Erwähnt in *Berl. klin. Wochenschr.* 1907. Nr. 39 u. 40.

scheiben zu verhüten, die frische Wirbelsäule vor dem medianen Durchsägen mit einer Fixierungsflüssigkeit, beispielsweise Alkohol, behandeln. Dichte bindegewebige Formationen sind gegen Alkohol sehr empfindlich; sie schrumpfen selbst noch in solchem von 60 %, wie man sehr deutlich beispielsweise an der fibrösen Lippe der Hüftgelenkspfanne sehen kann. Besteht nun gar ein Gebilde aus Bestandteilen verschiedener Dichtigkeit bzw. Quellbarkeit, wie es bei den Zwischenwirbelscheiben der Fall ist, so kann es sich ereignen, daß die gleiche Flüssigkeit auf den einen Bestandteil schrumpfend und auf den anderen quellend einwirkt und daß ein gar nicht mehr nachzurechnendes Gesamtergebnis entsteht.

b) Noch verwerflicher ist es, die Gestalt und Krümmung der Wirbelsäule und die Dicken der Zwischenwirbelscheiben bestimmen zu wollen an median durchsägten ganzen Körpern, ein Verfahren, welches auch mehrfach angewendet worden ist. Denn hier haben wir nicht die Eigenform der Wirbelsäule vor uns, sondern eine Beeinflussung derselben durch die Schwere, welche je nach der Lage, welche der Körper beim Fixieren hatte, nach Art und Richtung verschieden einwirkte.

Man wird sich jetzt, wie ich hoffe, überzeugt haben, daß wir es mit einer sehr schwierigen und mit äußerster Kritik zu behandelnden Frage zu tun haben, wenn es darauf ankommt, die Höhen der Zwischenwirbelscheiben zu bestimmen, und daß nur der von mir vorgeschlagene Weg zum Ziele führen kann.

Ich gebe nun die Zahlen für die vorderen und hinteren Höhen der Scheiben der beiden von mir untersuchten Brustwirbelsäulen.

	Gerade Säule			Gebogene Säule		
	vordere Höhe mm	hintere Höhe mm	Differenz mm	vordere Höhe mm	hintere Höhe mm	Differenz mm
t. 1/*t.* 2	5	2	−3	3·5	3	−0·5
t. 2/*t.* 3	2·7	2·8	0·1	2	3	1
t. 3/*t.* 4	2	2	0	2·5	5	2·5
t. 4/*t.* 5	1·5	2·2	0·7	1	2·5	1·5
t. 5/*t.* 6	1·5	2·2	0·7	0·5	3	2·5
t. 6/*t.* 7	2·8	2·7	−0·1	1·5	2	0·5
t. 7/*t.* 8	2	2·7	0·7	3	2	−1
t. 8/*t.* 9	3	3·5	0·5	3	3	0
t. 9/*t.* 10	4·5	4	0·5	3	3	0
t. 10/*t.* 11	4	5·3	1·3	1·4	5	3·6
t. 11/*t.* 12	2·5	2·8	0·3	6	8	2
	Summen der Differenzen		0·7			12·1

Die beiden Schlußzahlen entsprechen mehr, als es bei den Höhen der Körper der Fall war (vgl. S. 181), den Erwartungen und stellen ein natürlicheres Gesamtergebnis her, wie die folgende Zusammenrechnung zeigt.

Summen der Differenzen.

	Gerade Säule	Gebogene Säule
Körper	11	7·5
Scheiben	0·7	12·1
Summe	11·7	19·6

Die Gesamtsumme für die hinteren Höhen ist also an der gebogenen Säule um 7,9 mm größer wie an der geraden.

Daraus lernen wir jedoch wenig, oder im Grunde genommen nichts. Es ist nämlich bei der Beurteilung dieser Zahlen zunächst etwas in Betracht zu ziehen, was man sich von Anfang an auf Grund der Untersuchung der Knochen allein hätte sagen müssen: die Endflächen der Wirbelkörper und die Zwischenwirbelscheiben entsprechen einander wie Matrize und Ausguß; die einen sind genau das Negativ der anderen; daher muß jeder Erhebung einer Endfläche eine Erniedrigung der Bandscheibe an dieser Stelle und jeder Einsenkung der Endfläche eine Erhöhung der Zwischenwirbelscheibe entsprechen. Es wäre z. B. ganz falsch, wenn wir aus unserem Einzelfalle, denselben verallgemeinernd, schließen wollten, daß stärkere Biegung der Wirbelsäule auf Zunahme der hinteren Höhen der Scheiben beruhe. Es wurde ja weiter oben mitgeteilt, daß in unserem Falle die verhältnismäßige Niedrigkeit der Rückseiten der Wirbelkörper der gebogenen Säule auf medianen Einkerbungen der hinteren Ränder beruhe; durch denselben Umstand müssen die Rückseiten der Zwischenwirbelscheiben verhältnismäßig hoch erscheinen. Die durch die „Ungenauigkeit der Ausführung“ bedingten Übelstände fallen bei den Wirbeln, d. h bei den Knochen, nicht so sehr ins Gewicht; denn hier, wo man ein reichliches Material zur Verfügung hat, kann man entweder diejenigen Säulen, die mit offenkundigen Fehlern behaftet sind, von der Untersuchung ausschließen, oder man kann darauf rechnen, daß die Unregelmäßigkeiten des einen Falles in den aus einem großen Material gewonnenen Mittelzahlen unschädlich werden. Über die Zwischenwirbelscheiben aber wird man wegen der Schwierigkeit der Methode nur ein sehr beschränktes Material beschaffen können, und es ist entmutigend, wenn man sich dabei von vornherein sagen muß, daß die Verwertung desselben durch Fehlermöglichkeiten so sehr in Frage gestellt wird. Trotzdem ist es besser, von Anfang an mit klarer Kritik an die Untersuchungen der Höhen der Zwischenwirbelscheiben, die wegen ihrer großen Wichtigkeit doch einmal gemacht werden müssen, heran zu gehen, anstatt sich

einem blinden Vertrauen hinzugeben und Ergebnisse aufzuhäufen, welche zwar exakt erscheinen, weil sie sich in das Gewand der Zahlen kleiden, sich aber nachträglich doch als unzuverlässig erweisen.

B. Beziehungen zwischen den Rippenpfannen und der Gestalt der Wirbelsäule.

Der Gesichtspunkt für die nachfolgende Betrachtung wurde schon früher angegeben (vgl. S. 175). Ich wiederhole denselben hier. Wenn von zwei Wirbelsäulen die eine stärker gebogen ist wie die andere, so muß entweder die Stellung der Rippen gegeneinander oder die Stellung der Rippen gegen die Wirbelsäule verschieden sein. Diese Betrachtung kreuzt sich jedoch mit einer zweiten, welche ich deswegen auch, um Verwechslungen zu verhüten, vorführen will.

Die zweite Betrachtung ist diese: auch bei ein und derselben Wirbelsäule muß, wenn der Träger derselben Bewegungen ausführt, die Stellung der Rippen entweder zueinander oder zu der Wirbelsäule geändert werden, wenn nicht zu beiden.

Von Bewegungen der Brustwirbelsäule sprechen nun allerdings die Anatomen und Physiologen nicht gern oder gar nicht wegen der Erschwerung, welche dadurch das Problem der Thoraxmechanik (und Respiration) erfährt. Bezeichnend für diese Ablehnung ist eine Äußerung von Henke, welche ich schon bei anderer Gelegenheit angeführt habe[1], die aber immer wieder angeführt werden muß und nicht oft genug angeführt werden kann. Henke sagt nämlich, „daß die Brustwirbelsäule so gut wie ganz unbiegsam" sei.[2] Noch wirksamer tritt dies in der folgenden Mitteilung hervor: Als ich auf der Versammlung der Anatomischen Gesellschaft in Leipzig 1911 über die sagittalen Bewegungen der menschlichen Wirbelsäule berichtet hatte (a. a. O. S. 176), erzählte von Ebner, er sei als junger Mensch zu Henke gekommen und habe es übernommen, unter dessen Leitung über die Rippenbewegungen zu arbeiten; da habe Henke gesagt: „Nun wollen wir zuerst einmal eine eiserne Stange durch die Wirbelsäule stecken, um diese unbeweglich zu machen".

Ich habe nichts gegen diese Henkesche Stange, d. h. ich habe nichts dagegen, daß man, um eine komplizierte Frage in ihre Teile zu zerlegen, erst einmal eine vereinfachende Annahme mache. Man darf jedoch nicht vergessen, daß diese Annahme eine Annahme war, und daß es sich in Wirklichkeit anders verhält. Und hier verhält es sich tatsächlich anders

[1] *Verhdl. d. anat. Ges. auf d. 25. Vers. in Leipzig.* 1911. S. 186. u. *Vortrag v. 1907.*

[2] Henke, Wilh., *Handb. d. Anatomie u. Mechanik der Gelenke.* Leipzig und Heidelberg. 1863. S. 76.

Man braucht noch gar nicht an Bewegungskünstler wie die Schlangenmenschen oder Kautschukkünstler zu denken; man braucht sich nur den Fischer zu vergegenwärtigen, der seine Netze aufzieht, oder den Bauern auf dem Kartoffelacker, oder den Gärtner, der das Land umgräbt, oder den Ringkämpfer, oder den Feldgrauen, der im Schützengraben zusammengekauert ist oder hinter einer niederen Deckung Schutz sucht, oder tausend andere, um sich klar zu machen, daß der lebende Mensch seine Wirbelsäule, auch die Brustwirbelsäule, in der mannigfaltigsten Weise bewegt und dennoch dabei atmet. Ja, es ist den Ärzten bekannt, daß ein Kranker, der an einer Stelle des Thorax Schmerzen empfindet, ganz von selber diesen Abschnitt ruhigstellt und mit dem übrigen Teil des Brustkorbes Atembewegungen ausführt; und es ist den Gesangstechnikern bekannt, daß es verschiedene und verschieden wirksame Respirationstypen gibt, bei welchen bald mehr der obere, bald mehr der untere Abschnitt des Brustkorbes in Betrieb gesetzt wird.

Ich habe an der Wirbelsäule, welche dem oben erwähnten Leipziger Vortrage zugrunde lag, die Erfahrung gemacht, daß, wenn man die sagittale Biegsamkeit an den einzelnen Wirbelverbindungen bestimmt, und zwar nicht so, daß man einen Wirbel festhält und den nächsten gegen ihn bewegt, sondern so, daß man die Säule im ganzen biegt und innerhalb dieser Gesamtbiegung dann die Einzelbeträge feststellt, daß dann auf die einzelne Halswirbelverbindung (von extremer Ventralflexion bis zu extremer Dorsalflexion) im Durchschnitt 22·2°, auf die einzelne Brustwirbelverbindung 9·1° und auf die einzelne Lendenwirbelverbindung 13·9° kommen. Teilen wir, um eine anschaulichere Vorstellung von dem Verhältnis dieser Zahlen zueinander zu bekommen, jede derselben durch 9, so stellt sich die Biegsamkeit der Brustwirbelsäule zu der der Lendenwirbelsäule und zu der der Halswirbelsäule wie 1:1·5:2·5. Da kann man doch nicht davon sprechen, daß die Biegsamkeit des Brustteiles gegenüber der der anderen Abschnitte zu vernachlässigen sei.

Auch die seitliche Biegsamkeit der Brustwirbelsäule ist nicht gering, wovon man sich ja am eigenen Körper jederzeit leicht überzeugen kann. Dazu kommt als eine spezielle Bewegungsmöglichkeit gerade des Brustabschnittes die Drehfähigkeit

Vergegenwärtigt man sich diese reichen Erfahrungen der Anatomie und des täglichen Lebens, so ist klar, daß das vereinfachte Schema der Thoraxmechanik, wie es von Anatomen und Physiologen gelehrt wird, in Wahrheit gar nicht bestehen kann, sondern daß Einrichtungen vorhanden sein müssen, um die Erhaltung und Verwendbarkeit des Thorax bei wechselnden Haltungen der Wirbelsäule zu sichern.

Solche findet man auch, wenn man die Vorderseite des Brustkorbes und die vorderen Enden der Rippen zunächst ins Auge faßt, in Fülle: die Kürze und freie Endigung der beiden letzten Rippen, die Beschränkung der Verbindung mit dem Brustbein auf die sieben ersten Rippen, die verschiedene Länge der Rippenknorpel, die Beschränkung der gelenklosen Verbindung des Knorpels mit dem Sternum auf die erste Rippe, die Fuge im Brustbein. Alle diese Einrichtungen zusammen erweisen, daß der Mechanismus in dem oberen Abschnitte des Thorax ein strengerer ist wie in dem unteren, und daß insbesondere der ersten Rippe eine führende Rolle zukommt, was sich ja auch in den Vorstellungen der Praktiker festgesetzt hat.

Von diesen Dingen will ich indessen nicht sprechen; ich führe sie nur an, um den Leser der Erwägung geneigt zu machen, daß doch wohl auch an den hinteren Enden der Rippen, an den Verbindungen derselben mit der Wirbelsäule Einrichtungen vorhanden sein mögen, welche dem gleichen Zwecke dienen, ein Weiterfunktionieren des Thorax bei gleichzeitigen Bewegungen der Wirbelsäule zu ermöglichen, und daß dabei am unteren Abschnitt des Thorax eine größere Freiheit und am oberen eine größere Beschränkung herrschen wird.

Von Unterschieden in den Verbindungen der Rippen mit der Wirbelsäule sind zwei bekannt:

a) daß die 1., 11. und 12. Rippe sich nur mit je einem Wirbelkörper und nicht wie die übrigen Rippen mit deren zwei verbinden;

b) daß die 12. Rippe und sehr häufig auch die 11. keine Gelenkverbindung mit dem Querfortsatz, sondern nur eine solche mit dem Körper haben.

Die mechanische Bedeutung der zweiten dieser Einrichtungen ist leicht verständlich; es wird dadurch die Freiheit der Bewegungen vergrößert. Der mechanische Wert der ersten der beiden Einrichtungen ist dagegen nicht so unmittelbar einleuchtend und ist mir auch bis jetzt nicht klar; vorhanden ist er aber ohne Frage, und es ist dabei besonders zu betonen, daß diese Einrichtung am Anfange und am Ende der Reihe besteht, obwohl doch die erste Rippe die strengste und die beiden letzten die freieste Mechanik haben.

Es muß aber doch noch feinere Unterschiede zwischen den einzelnen Rippenpfannen geben. Solche bestehen allerdings nicht an den Pfannen, welche sich an den Wirbelkörpern befinden (Foveae costales corporum vertebralium), wohl aber an denen an den Querfortsätzen (Foveae costales processuum transversariorum). Allerdings sind an diesen Pfannen gerade die „Fehler der Ausführung“ besonders häufig, was wohl auch die Erkenntnis der betreffenden Verhältnisse erschwert hat; ja es mag sein,

daß manche Beobachter überhaupt alle Unterschiede auf solche „Fehler“ geschoben haben. Wenn man jedoch häufig Wirbelsäulen betrachtet, besonders jugendliche, wenn man ernsthaft darauf aus ist, Unterschiede zu finden, und wenn man auch Säugetiere, bei welchen die Formen schärfer und die Unterschiede stärker sind, in Betracht zieht, so tritt doch mit der Zeit eine Klärung ein.

Die Unterschiede beziehen sich auf die Krümmung der Oberfläche, auf Größe und auf Neigung zum Horizont.

a) Oberfläche. — Die zylindrische Gestalt, welche von der Theorie gefordert wird, findet sich nur an den oberen Wirbeln, und zwar an deren dreien. Sie ist zwar auch nicht streng zylindrisch, indem die Flächen sowohl in senkrechter wie in horizontaler Richtung konkav sind; aber es besteht doch eine starke Annäherung an die Zylinderform, indem der vordere (mediale) und hintere (laterale) Rand ausgeschnitten sind, der obere und untere Rand überstehen. Die Pfanne am 4. Wirbel ist kugelig, dabei flach. Nach unten hin nimmt die Flachheit zu; an den unteren Wirbeln sind die Flächen eben. Hierin prägt sich eine größere Strenge des Mechanismus an den oberen Wirbeln, eine größere Freiheit an den unteren aus.

b) Größe. — Der senkrechte (kranio-kaudale) Durchmesser ist geringer an dem ersten Wirbel, erheblich größer an dem zweiten und den folgenden; an den letzten nimmt er wieder ab. — Auffallend ist dabei besonders die geringe Größe beim ersten Wirbel, wofür ich keine Erklärung weiß. Bei vierfüßigen Säugetieren ist es anders; hier ist die erste Pfanne mindestens ebenso groß wie die zweite, meist aber größer, was ja auch der Vorstellung besser entspricht, daß die erste Rippe in der Thoraxmechanik eine führende Rolle spielt.

c) Neigung. — Es kommt hier die Neigung gegen den Horizont in Betracht. An den ersten Wirbeln stehen die Gelenkflächen senkrecht, seitwärts (und dabei ein kleines wenig ventralwärts) gewendet. Von dem 4. oder 5. Wirbel an stellt sich bereits eine leichte Neigung der Gelenkfläche ein, indem diese etwas kranialwärts schaut; an den unteren Wirbeln nimmt diese Neigung zu.

An meiner geraden Säule sind die beschriebenen Merkmale sehr klar ausgeprägt. Ich habe deshalb von dieser den 1., 2., 6 und 10. Wirbel in der Fig. 9 vereinigt. Die genannten Merkmale sind mir seit langem bekannt; ich habe sie aber bisher nicht mitgeteilt, weil ich sie immer von neuem nachprüfen wollte und weil ich keine Veranlassung zu einer Mitteilung hatte. Hier aber, wo es darauf ankam, Unterschiede zwischen

der geraden und der gebogenen Säule festzustellen, mußten auch die Rippenpfannen besprochen werden.

Unterschiede zwischen den Rippenpfannen der geraden und der gebogenen Säule. — Solche fanden sich mit Rücksicht auf die Neigung zum Horizont. Allerdings nicht an den ersten drei Wirbeln. Am 4. Wirbel dagegen ist bei der geraden Säule die Pfanne bereits schwach kranialwärts gewendet, was bei der gebogenen Säule noch nicht der Fall ist. Bei *t*. 5 ist die Fläche auch an der gebogenen Säule leicht kranialwärts gewendet, an der geraden aber ist sie es mehr; und dieser Unterschied erhält sich nun bei allen folgenden Wirbeln. Ich habe, um dies zur Anschauung zu bringen, an den beiden 10. Wirbeln, welche in Fig. 10 wiedergegeben sind, auf der rechten und linken Seite Nadeln anbringen lassen, welche die Neigung der Flächen zum Horizont wiedergeben. Durch diese läßt sich auch der Winkel ermitteln, welchen die rechte und linke Fläche miteinander bilden. Derselbe beträgt für den 10. Wirbel der geraden Säule 87°, für den der gebogenen Säule 50°.

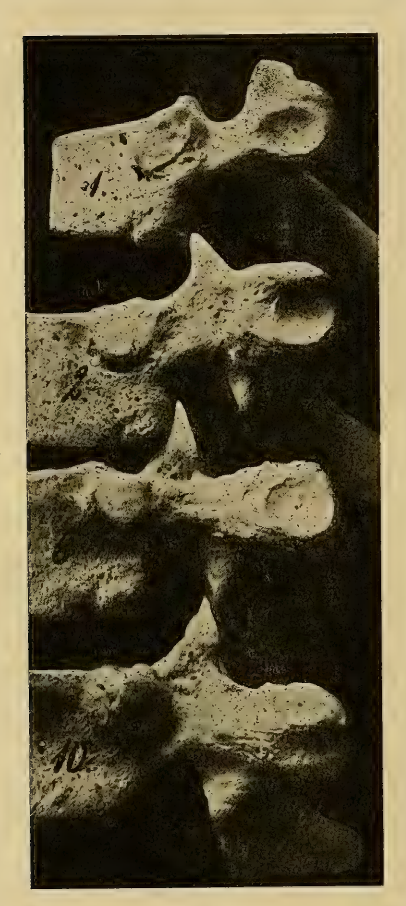


Fig. 9.
Rippenpfannen des 1., 2., 6. und 10. Wirbels der in Fig. 3 dargestellten Säule.

Dieser empirisch gefundene Unterschied zwischen den beiden Säulen ist genau das, was man auch deduktiv erwarten muß unter der Voraussetzung, daß bei der Zunahme der Biegung der Säule die Rippen nicht sklavisch der letzteren folgen, sondern eine gewisse Unabhängigkeit ihr gegenüber bewahren. Obwohl diese Übereinstimmung zwischen dem tatsächlich Gefundenen und dem theoretisch zu Erwartenden für die Richtigkeit des Befundes spricht, so mag man doch den letzteren, da er sich auf nur je eine Wirbelsäule stützt, ruhig für noch nicht hinreichend begründet halten und weitere Bestätigung verlangen. Die Berechtigung dieser Forderung gebe ich zu; ich möchte aber doch hier zum Schluß noch

zwei Betrachtungen anreihen, welche aus dem Vorhergehenden sich ergeben und auf alle Fälle Beachtung beanspruchen. Die eine bezieht sich auf die gestaltenden Kräfte des Brustkorbes, die andere auf die anthropologische Untersuchung der Wirbel.

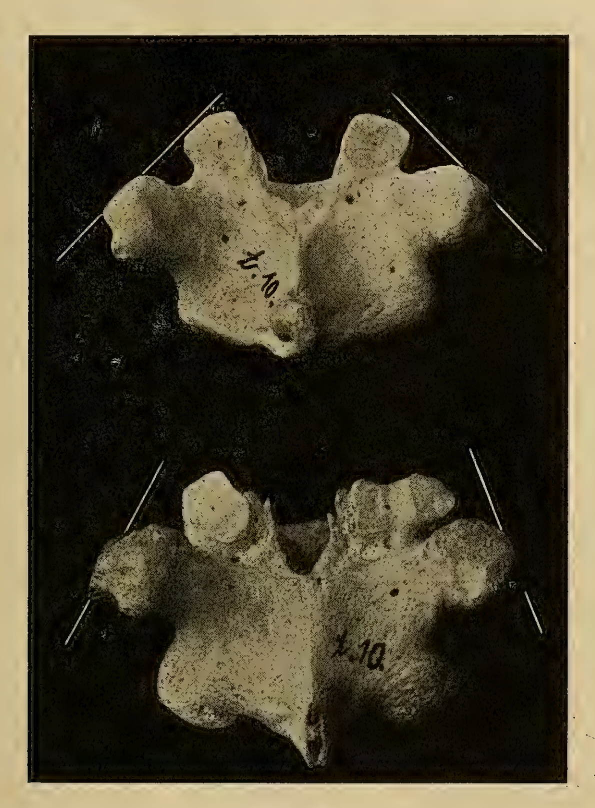


Fig. 10.
Zehnte Brustwirbel der in den Figg. 3 und 4 dargestellten Säulen von hinten mit auf die Querfortsatzpfannen aufgeklebten Nadeln zur Bezeichnung der Neigung der letzteren gegen den Horizont, der Wirbel der geraden Säule oben, der der gebogenen unten.

a) Wenn es richtig ist, wie es nach dem Vorausgehenden scheint, daß an der gebogenen Wirbelsäule die Stellung der Querfortsatzpfannen eine andere ist wie an der geraden Säule, und wenn, wie ich weiter oben als wahrscheinlich hingestellt habe, die jugendliche Wirbelsäule eine mehr gerade Gestalt hat und die gebogene aus ihr durch den Einfluß der Belastung hervorgeht, so heißt das, daß gleichzeitig mit der Änderung der Gestalt der Wirbelsäule auch eine solche der Querfortsatzpfannen durch

die Einwirkung der Rippen auf die Wirbel sich vollzieht, daß also das Tragende (die Wirbelsäule) durch das Getragene (die Rippen) in seiner Form beeinflußt wird. Wenn man sich nun fragt, was den Rippen die Fähigkeit, die Kraft verleiht, sich nicht nur der veränderten Gestalt der Wirbelsäule gegenüber mit einer gewissen Unabhängigkeit in ihrer Lage zu behaupten, sondern auch ihrerseits umformend auf die Wirbel einzuwirken, so können es nicht allein die ventralen Verbindungen der Rippen sein, denn die Rippen der unteren Thoraxhälfte, die ja hier in Betracht kommen, sind mit langen und gebogenen Knorpeln versehen und von der 8. an gar nicht auf das Sternum gestützt. Es müssen vielmehr andere Einflüsse sein, welche den Rippen in ihrem Kampfe um Behauptung ihrer Lage und Form zu Hilfe kommen: Eingeweide, Zwerchfell und Muskeln der Rumpfwand. Hier greife ich nun zurück auf früher Gesagtes. Ich habe, als ich die nach Form aufgestellten Rumpfskelette Skoliotischer besprach[1], darauf hingewiesen, mit wie großer Beharrlichkeit, trotz enormer Verkrümmung der Wirbelsäule, die Rippen bestrebt und befähigt sind, die ihnen zukommende Lage festzuhalten (a. a. O. S. 272).

b) Die zweite Bemerkung betrifft die anthropologische Untersuchung der Wirbelsäule. Sollte es dahin kommen, daß die Anthropologie sich bei der Untersuchung der Wirbelsäule auch um die genaueren Merkmale der Rippenpfannen bekümmert, was ja bis jetzt nicht der Fall ist, so könnte es sich ereignen, daß man bei der Untersuchung einzelner Rassenwirbelsäulen eine bestimmte Neigung der Rippenpfannen gegen den Horizont für charakteristisch hält. In diesem Falle möge man sich erinnern, daß diese Neigung abhängig ist von der Krümmung der Wirbelsäule, und daß man über diese Krümmung nichts Bestimmtes wissen kann, wenn man nicht Wirbelsäulen nach der Art der in dieser Arbeit besprochenen zur Verfügung hat, d. h. Wirbelsäulen, welche nach Form aufgestellt sind.

[1] „Über drei nach Form zusammengesetete skoliotische Rümpfe“. *Zeitschr. f. orthopäd. Chirurgie.* Bd. 29. S. 263—290.

Der absolute Größeneindruck beim Sehen der irdischen Gegenstände und der Gestirne.

Von

Wilh. Filehne.

Die im folgenden zu besprechenden Beobachtungen wurden auch bei Naheversuchen unter Vermeidung von Akkommodation (für die Nähe) und von Konvergenz der Sehachsen angestellt, da diese beiden Aktionen verkleinernd auf einen bestehenden Größeneindruck wirken. Und weil es mir um die Untersuchung eben dieses Größeneindrucks in seiner Ursprünglichkeit zu tun war, so schloß ich die modifizierenden Einflüsse aus. Gleichviel, ob diese Einflüsse mittelbar, z. B. etwa bei der Akkommodation durch Beseitigung von Zerstreuungskreisen usw., oder unmittelbar durch die Innervation als solche stattfinden — so interessant die Zergliederung dieser Vorgänge auch an sich sein würde —, handelt es sich hierbei doch nur um Neben- und Unterfragen. Wenn jene Einflüsse verhütet werden sollten, durften wir die Betrachtung der Objekte auch nur mit einem Auge vornehmen lassen. An und für sich würde sonst das zweiäugig-stereoskopische Sehen wegen der besseren Wahrnehmung der Entfernung uns erwünscht sein. Aber auch bei einäugigem Sehen wird — unter voller Benutzung aller Erfahrungsmotive und unter Bewegungen des Auges, die ausreichende parallaktische Verschiebungen veranlaßt, und zumal durch seitliche Bewegungen des Kopfes usw. — die Entfernung genügend erkannt.

I. Absoluter Größen- und Entfernungseindruck.

Um optisch einen relativen Größeneindruck zu gewinnen, um beispielsweise zu erkennen, daß das Ganze größer als seine Teile, ist der Besitz des räumlichen Sehens nicht erforderlich. Dagegen kann der Eindruck einer absoluten Größe, nach Zahlen z. B. des Metermaßes,

erst entstehen, wenn das räumliche Sehen bis zu einem gewissen Grade sich entwickelt hat. Der Betreffende muß aus Erfahrung wissen, wie groß beispielsweise 25 cm in den verschiedenen Entfernungen optisch erscheinen. Ein blind geborener Erwachsener hat diese Länge zwar sehr wohl im Bewußtsein: er vermag auf einer Tischkante von der Ecke ab recht genau abzugreifen oder durch Ausspannen der Hand anzugeben, wie lang 25 cm sind. Erhält er aber durch eine Operation das Sehvermögen, so hat er in den ersten Tagen und Wochen wohl relative Größeneindrücke, nicht aber erkennt er an einem Zentimetermaße, daß 25 cm gleich seiner Handspanne sind, wenn nicht mit dem Maße seine Handspanne gemessen wird. Ja, wenn ihm zwei Stäbchen von 25 cm Länge in sonst gleicher Lage, das eine aber in 35 cm, das andere in 70 cm Entfernung vorgezeigt werden, hält er das erstere für doppelt so lang wie das andere.

Sobald aber sich bei ihm — oder dem normal sehenden Kinde — das räumliche Sehen entwickelt hat, sobald in der Tiefendimension gelegene Strecken, d. h. Entfernungen, gesehen werden, wird für die genannten Fälle und überhaupt für die nächste Umgebung ein absoluter Größeneindruck, und zwar ein „richtiger“ gewonnen, der jetzt übereinstimmt mit dem durch Abtasten und Messen erhaltenen.

Meist wird das Zustandekommen dieses richtigen absoluten Größeneindrucks so dargestellt: aus der wahrgenommenen Entfernung des Gegenstandes und aus der Größe des Gesichtswinkels, unter dem der Gegenstand gesehen wird, bzw. aus der Größe des Objektbildes auf der Netzhaut, entstehe zwangsmäßig auf Grund der Erfahrung der Eindruck seiner wirklichen Größe. Aber nicht Gesichtswinkel werden empfunden oder wahrgenommen. Auch die Größe des Objektbildes in uns auf der Netzhaut wird nicht empfunden und nicht wahrgenommen, sondern das Objekt mit seiner Umgebung draußen wird wahrgenommen. Und ebenso steht es mit dem Worte „Entfernung“. Nicht die Abstraktion „Entfernung“ wird wahrgenommen, sondern die Umgebung des Objektes im wahrgenommenen Außenbilde. Diese besteht aus analogen „Größen“ wie die des „Objektes“ — es sind genau ebensolche Objekte: z. B. die Fußbodenstrecke, die zwischen unserem Fußpunkte und dem „Objekte“ liegt, oder der Tisch, auf dem der betrachtete Gegenstand sich befindet, oder in einem Korridore (außer dem Fußboden) die Wände rechts und links, oder die Länge meines Armes und der Hand, mit der ich einen Gegenstand halte, um ihn zu betrachten usw. Am einfachsten und klarsten liegt die Sache, wenn beispielsweise das „Objekt“ eine sagittale, in unserer Blickrichtung liegende Fußbodenstrecke von 2 m ist, die vor uns in einer „Entfernung“ von 3 m beginnt. Dann nehmen wir zwei Strecken wahr:

1. die von unserem Fußpunkte bis zu 3 m und 2. die dort beginnende Strecke von 2 m. Aus diesen zwei Faktoren entsteht das Produkt: der absolute Größeneindruck der zweiten Strecke.

Solange der Gegenstand oder die Höhe, Breite oder Tiefe, deren Größeneindruck in Frage stehen, nicht unter eine gewisse noch zu präzisierende Größe gehen, oder solange sie und diejenigen Gegenstände der Umgebung, die das Entfernungsmoment liefern, nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen, ist auf Grund der Erfahrungsmotive der absolute Größeneindruck „richtig“ — nämlich übereinstimmend mit der durch Betasten, Messen usw. zu gewinnenden Vorstellung von der Größe des Objektes. Wenn dieses aber, das wir uns als weiße Kugel oder weiße kreisförmige Scheibe denken wollen, so klein ist, daß es selbst im Nahepunkt gesehen in dem unbewaffneten Auge ein Netzhautbildchen von weniger als 50″ Durchmesser entstehen läßt, so erscheint es ausdehnungslos und kann keinen absoluten Größeneindruck machen. Und wenn die Objekte, die das Entfernungsmoment bedingen, so groß sind, daß das betrachtete Objekt selbst bei erheblicher objektiven Größe ein Netzhautbildchen von weniger als 50″ Durchmesser entwirft, so sehen wir es ebenfalls ausdehnungslos. Ferner können wir auch an einem Objekte beispielsweise von der Größe des Mondes keinen richtigen Größeneindruck erhalten: entweder ist es zu fern, dann ist es „verkleinert“, oder es ist uns ganz nahe, und dann fehlt der Überblick.

Die im folgenden gebrauchten Ausdrücke „mittlere Größe“ und „mittlere Entfernung“ werden hiernach nicht mißverstanden werden.

Nun muß dieselbe Entfernung, die beispielsweise für ein Objekt von 20 cm Durchmesser als mittlere zu bezeichnen ist, für ein Objekt von 5 mm bereits als eine große angesehen werden. Sobald die Entfernung eines bestimmten Objektes anfängt eine „große“ (im genannten Sinne) zu werden, so sehen wir das Objekt nicht mehr „richtig“, vielmehr zeigt sich eine mit Zunahme der Entfernung allmählich einsetzende und annähernd proportional der Entfernung zunehmende (scheinbare) Verkleinerung. Die Region, in der diese ganz allmählich beginnende Verkleinerung sich geltend macht, wollen wir die für diese Objektgröße „kritische Region“ nennen. Sicherlich gibt es ja einen kritischen Punkt, aber im praktischen Versuche läßt sich nur eine kritische Region feststellen, — so allmählich findet die Änderung des Größeneindrucks statt. Bei zunehmender Entfernung wird also von kleineren Objekten die kritische Region früher erreicht als von mittleren. Jenseits der kritischen Region ist die Abnahme des Größeneindrucks annähernd proportional der Entfernung — aber nur annähernd. Denn die Verkleinerung geht nicht

etwa ins Unendliche weiter, d. h. es ist keine asymptotische Abnahme, sondern der Eindruck der Größe wird plötzlich ein bleibendes Minimum — ein ausdehnungsloses Fleckchen, dessen Sichtbarkeit — wie bei einem Himmelsstern — nur von der Intensität des von ihm ausgestrahlten oder reflektierten Lichtes abhängt. Und dies tritt ein, sobald das Netzhautbildchen kleiner als 50″ wird. Solange jedoch das Bildchen größer als 50″ ist, entsteht ein bestimmter, ein absoluter Größeneindruck, der aber vom Erreichen der kritischen Region an bei zunehmender Entfernung hinter der Wirklichkeit mehr und mehr zurückbleibt.

Zur Gewinnung eines absoluten Größeneindrucks genügt also das Gegebensein irgendeines Entfernungseindrucks und eines unter mehr als 50″ gesehenen Objektes am Ende dieser Strecke. Ob dieser Eindruck richtig oder zu klein ist, hängt bei kleineren und mittleren Objekten davon ab, ob das Objekt diesseits oder jenseits der kritischen Region sich befindet.

Hieraus folgt: wenn wir am Horizontrande ein Objekt erblicken, dessen Durchmesser sich auf unserer Netzhaut größer als 50″ abbildet, so müssen wir von ihm einen absoluten, d. h. im Metermaß ausdrückbaren, sei es richtigen, sei es zu kleinen Größeneindruck haben. Und daher muß z. B. der aufgehende Vollmond, dessen Netzhautbildchen einen Durchmesser von etwa 31′ hat, auf uns schlechterdings einen absoluten Größeneindruck machen. Und das gleiche gilt für den Mond, gleichviel an welcher Stelle er am Himmel steht, da er stets unter einem Gesichtswinkel von etwa 31′ gesehen wird und da wir ihn am „Himmel“ in einer bestimmten, aber je nach der Himmelsstelle wechselnden Entfernung wahrnehmen. In der Tat ist im naiven natürlichen Publikum von jeher z. B. gesagt worden: hoch am Himmel hat der Vollmond die Größe eines Kompotttellers, in der Mitte des Himmelsquadranten die eines Dessertellers und nahe am Horizont ist er noch größer als ein großer Teller. Von wissenschaftlicher Seite wurde ein solcher absoluter Größeneindruck abgelehnt, z. B. etwa mit folgender Kritik: da könnte man ebensogut statt „groß wie ein Teller“ sagen: „wie ein Mühlrad“, es komme eben darauf an, aus welcher Entfernung man Teller und Mühlrad betrachte. Aus dem weiter oben ausgeführten geht hervor, daß diese Ablehnung und Kritik irrig ist: freilich erscheinen Teller und Mühlrad aus gewissen — nicht „mittleren“, sondern größeren — Entfernungen, d. h. wenn sie sich jenseits des kritischen Punktes befinden, verkleinert, und es läßt sich leicht für den Teller eine Entfernung jenseits jenes Punktes angeben, in der er ebenso klein oder groß aussieht, wie ein Mühlrad in einer anderen — und selbstverständlich größeren — Entfernung, wo dann aber

auch das Mühlrad jenseits des kritischen Punktes liegt. Aber wenn man vom Eindruck „Tellergröße“ oder „Mühlradgröße“ spricht, meint man den Größeneindruck an Teller und Mühlrad diesseits des kritischen Punktes. Und hier macht es keinen Unterschied, an welchem Punkte zwischen Auge und kritischem Punkte das Objekt sich befindet, sofern es nur so weit vom Auge entfernt ist, daß ein Überblick ermöglicht ist. Aber ein Teller in 35 cm Entfernung sieht keineswegs doppelt so groß aus wie aus 70 cm, sondern ebenso groß, denn das Entfernungsmoment und die unterschiedliche Sehwinkelgröße werden unmittelbar zwangsmäßig so verschmolzen, daß der Teller unter halbem Sehwinkel, aber aus doppelter Entfernung gesehen, genau denselben absoluten Größeneindruck macht, wie unter vollem Sehwinkel, aber aus einfacher Entfernung gesehen. Jedoch gilt dies nur so lange, als das Objekt, hier der Teller, diesseits des kritischen Punktes sich befindet. Jenseits des kritischen Punktes liefert das Objekt einen mehr und mehr sich verringernden absoluten Größeneindruck nach dem bereits besprochenen Modus (annähernd proportional der Entfernung).

Wir haben erkannt, daß am Monde ein absoluter Größeneindruck gewonnen werden muß, und haben festgestellt, daß er von unbefangenen Erwachsenen tatsächlich von jeher gewonnen oder doch angegeben wird. Um hierin eine etwas schärfere Prüfung anzustellen, verfahre man wie folgt. Zu einer Zeit, wann der Vollmond in der scheinbaren Mitte des Himmelsquadranten zu sehen ist (er ist dann bekanntlich nur etwa 23° über dem Horizonte), lege man einen Satz kreisrunder (zylindrischer) weißer Papierscheiben mit Durchmessern von 1 mm, 1 cm, 5 cm, 20 cm, 50 und 75 cm beliebigen sehenden Erwachsenen mit der Aufforderung vor, diejenige auszuwählen, die ihrer Auffassung zufolge am meisten der Größe des Vollmondbildes entspricht. Mag der eine oder andere gegen eine solche Ausmessungsmethode der Mondgröße Protest erheben — auch dieser und alle anderen wählen ohne eine einzige Ausnahme die 20-cm-Scheibe, während sie die kleineren Scheiben für viel zu klein, die größeren für zu groß erklären. Ich legte dann Scheiben von 16 cm, 16·5, 17 usf. bis 24 cm Durchmesser, also mit Unterschieden von je 0·5 cm, zur genaueren „Bestimmung“ vor. Die Angaben schwankten zwischen 19 und 21 cm. Wir dürfen also als annähernden Eindruck den Wert 20 cm nehmen. Diese Vergleichsscheiben wurden in einer Entfernung von 3 m in guter Beleuchtung gezeigt, und zwar in einer Stellung, die der unmittelbaren Vergleichung mit dem Vollmonde möglichst günstig war. Ich nehme vorweg, daß der kritische Punkt für eine 16-cm-Scheibe 18·3 m vom Auge entfernt liegt, für 20 cm 22·5 m usw., so daß also die Scheiben dies-

seits des kritischen Punktes in ihrer wirklichen Größe gesehen wurden und — einäugig — ohne Akkommodation betrachtet werden konnten. Für den hoch (40° Zenitdistanz) stehenden Vollmond erhielt ich auf diese Weise einen Durchmesser von 10 bis 12 cm, für den tief stehenden manchmal 40, meist 35 cm.

Der Gedanke, die scheinbare Größe der Gestirne durch Vergleiche mit weißen Karton- oder Papierscheiben zu bestimmen, ist nicht neu. Eug. Reimann[1] hat solche im Jahre 1894 an der Sonne, sowohl um 12 Uhr mittags als bei ihren Untergängen, angestellt. Er benutzte hierzu zwei Scheiben aus weißem Karton. Die eine hatte — rein zufällig — einen Durchmesser von 34 cm; diese bewährte sich — begreiflicherweise — für den Sonnenuntergang. Die andere wurde für die Mittagssonne halb so groß — 17 cm — gewählt. Mittags wurde die Sonne durch ein Blendglas betrachtet. Die Beobachter traten von der Vergleichsscheibe so weit zurück, bis diese an Größe der Sonne gleich erschien. Aus der Größe des Abstandes von der Scheibe wurde die scheinbare Größe der Scheibe berechnet. Reimann konnte ja von der Existenz eines kritischen Punktes noch nichts wissen. Und da er für den Sonnenuntergang rein zufällig die richtige Scheibengröße zur Hand hatte, so stimmt selbstverständlich die Größe bei Abständen von 9 bis 13 m mit dem überein, was wir auf Grund unserer Kenntnis vom kritischen Punkte am Monde, der fast dieselbe Bogengröße wie die Sonne hat, ermittelt haben. Dagegen war die 17-cm-Scheibe, die für die Mittagssonne benutzt wurde, für Colberg und Hochsommer, d. h. für 55° über dem Horizonte, zu groß. Nach meinen Versuchen liegt ihr kritischer Punkt bei etwa 20 m. Da diese Scheibe zu groß war, mußte sie über den kritischen Punkt hinausgeführt werden und erschien also verkleinert. Außerdem zwang die Helligkeit der Mittagssonne zur Anwendung von Rauchglas, was alles die dort gewonnenen Abstandszahlen nicht ohne weiteres für uns benutzbar macht. Immerhin stimmen Reimanns Zahlen mit seinen übrigen Versuchsergebnissen für seine damaligen Zwecke genügend überein, für unsere jetzige Fragestellung sind sie aber nicht verwendbar. Aber die Priorität des Vorgehens sei Reimann gewahrt.

Unsere Zahlen, z. B. 20 cm Durchmesser für den Vollmond in scheinbarer Mitte des Himmelsquadranten und 35 cm für den tief stehenden,

[1] *Programm des Kgl. Gymnasiums zu Hirschberg i. Schl.* 1901. S. 26.

bilden eine Bestätigung der vor 8 Jahren gemachten beiläufigen Schätzung, die v. Kries[1] mitteilte. Seine Worte sind:

„Auch bei dem viel umstrittenen Problem über die scheinbare Größe der Himmelskörper sind, wie ich glaube, diese Verhältnisse bisher nicht genügend gewürdigt worden. Mir erscheint als vorzugsweise merkwürdig und als der notwendige Ausgangspunkt aller speziellen Erklärungsversuche die Tatsache, daß die Himmelskörper, ich weiß nicht, ob von allen, aber jedenfalls von sehr vielen Personen in einer ganz bestimmten absoluten Größe wahrgenommen werden, und zwar in einer solchen, die zu ihrer Winkelgröße und zu der Entfernung, in der sie gesehen werden, in einem auffälligen Mißverhältnis steht. Mir z. B. (und viele Personen haben mir ähnliches bestätigt) gibt die Scheibe des Vollmondes in durchaus zwingender Weise einen Eindruck, den ich, so sehr ich mir der Unsinnigkeit einer solchen Schätzung bewußt bin, sehr wohl als absolute Größe angeben kann. Ich kann sie auf etwa 20 cm taxieren, wenn der Mond hoch am Himmel steht, während sie bis auf 30 bis 35 cm wächst, wenn er über dem Horizonte aufgeht. Um bei dieser absoluten Größe unter dem Winkel zu erscheinen, in dem wir den Mond tatsächlich sehen, müßte ein Gegenstand in der Entfernung von 25 m sich befinden. Dem entspricht aber der wirkliche Entfernungseindruck in keiner Weise. Steht der Mond so, daß die Gleichheit seiner Winkelgröße mit der irgendeines irdischen Objektes unmittelbar anschaulich ist (z. B. wenn er mit seiner oberen Hälfte gerade einen Kamin überragt), so kommt jener Größeneindruck wohl ins Wanken. Sobald es aber an einem so unmittelbaren Vergleiche fehlt, ist er zwingend gegeben. Diese absoluten Größeneindrücke sind es nun doch wohl, die auch den Gegenstand der viel umstrittenen Täuschung bilden. Und es wird, wie mir scheint, nicht möglich sein, zu einer sicheren Erklärung zu gelangen, ehe wir darüber ins Klare gekommen sind, wie es eigentlich zugeht, daß ein absoluter Größeneindruck, und zwar in solcher Diskrepanz mit dem Entfernungseindruck zustande kommt."

Auf Grund der Erkenntnis von der Entstehung eines absoluten Größeneindrucks sind wir nun sehr wohl in der Lage, Klarheit darüber zu schaffen, wie es zugeht, daß am Monde ein absoluter Größeneindruck, und zwar in jener vermeintlichen Diskrepanz mit dem Entfernungseindruck, zustande kommt.

Wenn wir am Meeresstrande so stehen, daß wir einen Horizontradius von 5 km vor uns haben, und sichten am Horizonte einen rechtwinklig

[1] *Handbuch der Physiol. Optik* von H. v. Helmholtz. Dritte Aufl. Bd. III. 1910. S. 492 u. 493.

zu unserer Blickrichtung fahrenden Dampfer, dessen Länge von uns unter 31′ gesehen wird, so wissen wir — nehmen es optisch aber nicht wahr —, daß seine objektive Länge gleich etwa 45 m ist. (Trigonometrisch berechnet sich diese $= 2 \times 5 \times \mathrm{tg}\, 31'/2$ km.) Wir sehen aber seine Länge wegen der großen Entfernung stark — um mehr als das Hundertfache — verkleinert: das Schiff erscheint fast wie ein Spielzeug. Nach der oben besprochenen Methode können wir diese scheinbare Länge messen. Mit einem 50-cm-Maße, das wir in einer bequemen Entfernung diesseits des kritischen Punktes, der über 30 m vom Auge entfernt liegt, in der Hand halten, finden wir diese Größe durch Vergleichung als 35 cm. Jetzt gehe am Horizonte der Vollmond auf, dessen Durchmesser ebenfalls unter (etwa) 31′ gesehen wird. Also sehen wir auch diesen in der scheinbaren Länge von 35 cm, was die Messung bestätigt.

Für den Dampfer, den wir in einer scheinbaren Länge von 35 cm sehen, müßten wir mit v. Kries sagen: „Um bei dieser Größe von 35 cm unter dem Winkel von 31′ zu erscheinen, müßte ein Gegenstand in der Entfernung von 38·8 m (diesen Wert ergibt die Rechnung) sich befinden. Dem entspricht aber der wirkliche Entfernungseindruck in keiner Weise.“ Dann hätten wir ja die Diskrepanz auch für die entfernteren irdischen Gegenstände. Denn in 38·8 m Entfernung sehen wir den Dampfer, der 5 km entfernt am Horizont fährt, ganz sicherlich nicht. Und so hätte der Mond vor irdischen Objekten nichts Besonderes mehr voraus. Wenn wir so bezüglich des Dampfers schlössen, würde der Fehlschluß darin liegen, daß einerseits der „wirkliche Entfernungseindruck“, d. h. die scheinbare Entfernung, andererseits die objektive Größe von 35 cm in Beziehung gesetzt werden, denn es heißt: „um bei dieser Größe von 35 cm“ statt: bei diesem Größeneindrucke. Wollen wir für den Dampfer die Sache richtig ausdrücken, so müssen wir sagen: damit ein unter einem Winkel von 31′ gesehener Gegenstand den Größeneindruck von 35 cm mache, darf er beliebig verschiedene objektive Größe, von 35 cm aufwärts, haben, wobei einer jeden objektiven Größe eine besondere von ihr abhängig variable Entfernung zugehört. Bei einer wirklichen Gegenstandsgröße von 35 cm — die der Dampfer ja nicht besitzt — muß der unter 31′ gesehene Gegenstand sich in nicht mehr als 38·8 m Entfernung befinden, um den Größeneindruck von 35 cm, also jetzt den „richtigen“ Größeneindruck zu machen. Das ist eben die Entfernung des kritischen Punktes. Dann — aber nur dann — ist die scheinbare Größe, d. i. der absolute Größeneindruck, genau gleich der objektiven Größe.

Der Gegenstand kann aber beispielsweise — statt 35 cm — 45 m lang sein und muß dann in 5 km Entfernung gesehen sein — und dies

ist der Fall unseres Dampfers; er könnte aber auch jede beliebige, zwischen 35 cm und 45 m gelegene Länge — oder auch eine Länge von wesentlich mehr als 45 m haben; dann entspricht jeder dieser Längen eine leicht ausrechenbare Entfernung. Und gleichviel welche objektive Länge der unter 31′ gesehene Gegenstand hätte und welche Entfernung dieser Länge zugehörig ist, macht der Gegenstand überall den optischen Größeneindruck von 35 cm.

Für den Mond gilt vollkommen dasselbe. Aus der unendlich großen Zahl von Möglichkeiten seien nur drei herausgegriffen: rein logisch genommen könnte der Mond, wenn wir von unserer sonstigen optischen Erfahrung und unserem Wissen absehen — analog jenem Dampfer — erstens ein Gegenstand von objektiv 35 cm Durchmesser sein; dann müßte er in 38·8 m Entfernung liegen. Kann er aber in 38·8 m Entfernung nach unserer sonstigen Erfahrung usw. nicht liegen, dann ist sein Durchmesser eben objektiv größer als 35 cm. An und für sich könnte der Mond zweitens einen Durchmesser von 45 m haben; dann würde er 5 km von uns entfernt liegen. Dem widerspricht unsere optische Erfahrung nicht. Drittens könnte der Mond einen Durchmesser von 3470 km haben; dann muß er sich in 384400 km Entfernung befinden. Auch dies steht mit unserer sonstigen optischen Erfahrung, steht aber auch mit unserem auf ausgebildeter optischer Erfahrung beruhenden Wissen in Übereinstimmung. In welcher Entfernung auch immer der Mond stehen und welchen zugehörigen Durchmesser er auch haben möge — solange er am Horizonte, d. h. tiefstehend unter 31′ gesehen wird, würde er überall den Größeneindruck von 35 cm Durchmesser machen. Aber nur, wenn er tief steht. Von einer „Diskrepanz“ zwischen absolutem Größen- und Entfernungseindrucke kann also nunmehr, d. h. nachdem wir uns über die Bedeutung des kritischen Punktes (für kleinere und mittlere Gegenstände) und das Wesen des absoluten „Größeneindrucks“ klarer geworden sind, nicht gesprochen werden — weder in bezug auf den Dampfer, noch einen irdischen Ballon, noch den Mond.

Was das anbetrifft, daß man gelegentlich an der Zuverlässigkeit des am Monde gewonnenen Größeneindrucks irre werden kann, so sei folgendes angeführt.

Wenn wir eine an unseren Füßen beginnende sagittale — also in der Tiefendimension liegende und perspektivisch verkürzt gesehene — Strecke von 35 m betrachten, so erscheint ihre Länge uns zwar noch einigermaßen „richtig“, aber doch schon etwas zu klein; denn wenn ein Merkzeichen vor unseren Füßen das Ende der ersten 5 m angibt, so erscheint das Bild der 35 m keineswegs siebenmal so groß wie das der 5 m, sondern

etwas kleiner. Und wenn wir uns in die Mitte der 35 m stellen, macht die Strecke einen etwas größeren Eindruck als von ihrem einen Ende aus. Betrachten wir dann aus 35 m Entfernung einen 35 m hohen Fabrikschornstein, so erscheint er uns wiederum etwas kleiner als die 35 m Fußbodenstrecke, aber immerhin noch einigermaßen richtig. Wenn dann über dem Horizonte der Vollmond aufgeht und sein Durchmesser gleich 35 cm erscheint, so bedeutet dieser Größeneindruck: es erscheint uns die Höhe des Kamins beinahe 100mal größer als der Monddurchmesser. Und wenn fernab in der Richtung zum Monde ein zweiter, objektiv ebenfalls 35 m hoher Schornstein in solcher Entfernung und Richtung gesehen wird, daß er den Durchmesser des Mondes genau deckt, so bedeutet dies, daß der erstgenannte, 35 m von uns entfernte Schornstein gleichermaßen fast 100mal höher erscheint als der fernliegende. Dann erscheint also der Mond nicht etwa in gleicher Größe wie ein 35 m hoher Kamin an und für sich, sondern wie ein solcher Kamin, der wegen seiner großen Entfernung nur ein Hundertstel der Größe des uns nahen Kamins zu haben scheint. Wird also ein denkender Erwachsener bei dieser Gelegenheit irre an der Zuverlässigkeit seines Größeneindrucks vom Monde, so liegt dies daran, daß er die Verkleinerung fern stehender irdischer Objekte zwar als selbstverständlich hinnimmt, dagegen nicht im gleichen Maße über Erfahrungen an Monden verfügt.

Wir fassen kurz zusammen: solange ein flächenhaft erblickter, nicht in der Tiefendimension und nicht perspektivisch verkürzt gesehener Gegenstand — sei es ein Dampfer, sei es ein (irdischer) Ballon, sei es der Mond — in ein und derselben, z. B. horizontalen, Richtung unter 31′ bis heran zu 38·8 m Entfernung geschaut wird, ist der absolute Größeneindruck unter allen Umständen der gleiche, z. B. für horizontale Richtung gleich 35 cm. Hieraus folgt, daß für diesen Größeneindruck der auf Tiefendimensionwahrnehmung begründete Entfernungseindruck, gleichviel wie und aus welchen Motiven auch immer er zustande kommen mag, überhaupt nicht in Betracht kommt — weder an irdischen Objekten noch am Monde.

Wenn hinter jenem 45 m langen Dampfer — ebenfalls am Horizonte — ein objektiv halb so langer Dampfer führe, würden wir ihn unter etwa $31'/2 = 15'\,30''$ sehen und von ihm den Größeneindruck von $35/2$ cm $= 17·5$ cm haben. Und diesen Eindruck würde jeder Dampfer machen, den wir unter $15'\,30''$ in horizontaler Richtung sehen, gleichviel wie groß er objektiv ist und wie groß die zugehörige Entfernung ist.

Wir können uns jetzt den unter dem fest gegebenen Winkel φ in ein und derselben Richtung gesehenen Dampfer in der Art bezüglich seiner Größe und seiner Entfernung als variabel vorstellen, daß er zwischen den Schenkeln des Sehwinkels φ verschiebbar sei und sich genau entsprechend verkürze, je näher er dem Auge kommt, und sich entsprechend verlängere, je weiter er vom Auge zwischen den Schenkel abgeschoben werde. So würde er stets unter dem Winkel φ gesehen werden. Solange die Richtung der Blicklinie die gleiche bleibt, bleibt auch der Größeneindruck — bis heran zum kritischen Punkte — der gleiche.

Unter dieser Voraussetzung gilt auch folgendes. Wenn wir am Horizonte neben dem Vollmonde einen (irdischen) Ballon sichten, den wir unter etwa $31'/2 = 15' 30''$ zu sehen bekommen, so muß sein Durchmesser uns unter allen Umständen gleich 17·5 cm zu sein scheinen. Der kritische Punkt eines objektiv 17·5 cm im Durchmesser haltenden Ballons ist etwa bei 20 m. Wie groß der Durchmesser auch in Wirklichkeit wäre und welches auch die zugehörige Entfernung ist, — er erscheint stets halb so groß wie der des Mondes. Ist der Ballon so weit von uns entfernt, daß wir ihn nicht mehr dreidimensional, sondern nur noch flächenhaft sehen, während er aber optisch dem Horizonte aufsitzt, so könnten wir ihm nach Gutdünken einen Entfernungseindruck beilegen: entweder berührt er den Horizont, oder wir lassen ihn diesseits des Horizontes in einiger Höhe schweben, oder wir verlegen ihn jenseits des Horizontes, und zwar in um so größere Höhe, je größer die Entfernung ist, die wir ihm zuweisen wollen. Der unbefangene Beschauer wird ihn in Horizontradiusferne verlegen. Daß aber derartige absolute Entfernungseindrücke keinen Einfluß auf den absoluten Größeneindruck ausüben können, liegt auf der Hand. Und ebensowenig kann umgekehrt der Größeneindruck, den der Ballon macht, den Entfernungseindruck bestimmen, da dieser hier in unser Belieben gestellt ist. Auch wenn wir den Horizontradius als das Maß nehmen für die Entfernung, kann doch die zufällige Größe des Ballons, die bei gegebener objektiver Entfernung den Sehwinkel bestimmt, nicht bestimmend auf die scheinbare Länge des Horizontradius wirken und umgekehrt.

Wodurch wird denn nun aber der absolute Entfernungseindruck bestimmt? Auch hier muß daran festgehalten werden, daß das hierüber zu Sagende nur für ein und dieselbe Richtung gilt. Wir wählen zunächst die horizontale Richtung. Hier wird für uns die scheinbare Entfernung gewonnen je nach dem Orte, den der Gegenstand auf der Horizontfläche, z. B. auf der Meeresfläche, einnimmt. Sehen wir den Dampfer, Ballon oder Mond auf dem Horizontkreise aufsitzen, so ist die scheinbare Ent-

fernung eben durch die scheinbare Länge des Horizontradius — nicht durch die 5 km — gegeben. Der Eindruck, den diese 5 km Horizontradius machen, ist geringer, als man denken möchte. Von diesen 5 km bilden sich die fernsten 2 km auf der Netzhaut unter weniger als 50″ ab, werden also nicht als ausgedehnt wahrgenommen. Die uns zunächst liegenden 2 bis 5 m werden bei 1·6 m Augenhöhe ja „richtig“ gesehen, aber hinter ihnen beginnt die erhebliche perspektivische Verkürzung und bald auch die Verkürzung für die Wahrnehmung.

Bei Ausblick von größerer Aussichtshöhe erweitert sich der Horizont zwar objektiv beträchtlich, subjektiv aber nur um etwas, um bei (nicht erreichbaren) Höhen von über 10000 m wieder abzunehmen (vgl. meine Horizontflächenarbeit 1912). Hierüber jedoch im nächsten (II.) Abschnitt.

Handelt es sich um Gegenstände, z. B. Dampfer, die auf der Meeresfläche wahrgenommen werden, die optisch also unterhalb des Horizontes, für die Vorstellung also innerhalb des Horizontkreises, liegen, so wird der absolute Entfernungseindruck durch den Winkel bestimmt, unter dem die Meeresstrecke zwischen unserem Fußpunkt und dem Gegenstande (Dampfer) gesehen wird. Für den Mond kann nur eine scheinbare Entfernung in Betracht kommen, nämlich der Horizontradius; näher kann der aufgehende Vollmond nicht zu stehen scheinen, da er sonst optisch unter dem Horizonte liegen und auf der Wasserfläche schwimmen müßte; und weiter ab als am Horizonte kann er nicht zu liegen scheinen, weil die Weltenstrecke vom Horizonte zum Monde nicht zur Abbildung auf der Netzhaut kommen kann.

In der Richtung nach dem Zenite oder anderen über dem Horizonte gelegenen Himmelspunkten ist die äußerste Grenze für einen absoluten Entfernungseindruck früher erreicht als für die horizontale Richtung. Unser räumliches Fernsehen ist, je mehr unser Blick von der Horizontfläche aufwärts gerichtet ist, weniger entwickelt, da wir für größere Entfernungen nur auf der Horizontfläche das räumliche Sehen zu erlernen Gelegenheit hatten. Für größere Entfernungen aufwärts fehlt es an den erforderlichen perspektivischen Maßen. Es genügt, daran zu erinnern, daß im Zenite selbst der fernste leuchtende Stern (oder auch schon eine Zirruswolke) nur $^1/_{3.77}$ der Entfernung zu haben scheint, die dem Eindrucke nach zwischen uns und dem Horizonte liegt. Daher kann der Mond im Zenite (in tropischen Gegenden) nicht mehr als $^1/_{3.77}$ derjenigen Entfernung zu haben scheinen, die er am Horizonte für uns hat. Zu erklären bleibt aber, weshalb er uns dort nicht noch näher zu liegen scheint. Da der Zenithimmel und die zwischen Zenit und Horizont gelegenen Himmels-

teile mitsamt dem Monde offensichtlich höher als die höchsten Spitzen der Bäume, Bauten und Berge sind, da ferner, wenn wir in der Landschaft dahinschreiten, Wegstrecken, Hecken, Bäume, Häuserreihen und Bergketten hinter uns zurückbleiben und kleiner zu werden scheinen, während der Mond in gleicher Höhe, Richtung und Größe an seiner Stelle bleibt, muß uns Mond und Himmel höher als alle irdischen Dinge erscheinen, und daher können wir den Mond und den Himmel nicht näher zu uns sehen als es jetzt der Fall ist. Sehen wir den Mond aber im Zenite nur $1/_{3,77}$ so fern wie am Horizonte, während wir ihn beide Male unter (etwa) dem gleichen Winkel von 31′ erblicken, so muß er im Zenite in $1/_{3,77}$ der Größe erscheinen, in der man ihn am Horizonte zu sehen glaubt.

Verwickeln wir aber uns hier nicht in einen Widerspruch? Wir hatten doch kurz vorher in einem bestimmten Zusammenhange mit aller Schärfe hervorgehoben, daß der Größeneindruck ausschließlich durch den Winkel bestimmt wird, unter dem wir den Gegenstand sehen, und gänzlich unabhängig ist von der Entfernung, in der er sich scheinbar befindet. Das galt aber für beliebig viele in derselben, z. B. in der horizontalen, Richtung gelegene verschieden große Körper. Hier jedoch handelt es sich um ein und denselben in zwei verschiedenen Richtungen gesehenen Körper. Dort wird der Größeneindruck lediglich von dem objektiv gegebenen Gesichtswinkel bestimmt. Im jetzigen Falle dagegen wird der Unterschied im Größeneindruck, den derselbe Körper an zwei verschiedenen Stellen bei gleichem Gesichtswinkel macht, ausschließlich durch den Unterschied der beiden scheinbaren Entfernungen bedingt. Daher stehen im letzteren Falle die scheinbaren Durchmesser desselben Körpers an den beiden verschiedenen Himmelsstellen in demselben Größenverhältnisse zueinander wie die beiden scheinbaren Entfernungen.

Was für den absoluten Größeneindruck am Monde gesagt wurde, läßt sich — mit passenden Einschränkungen — auch auf Sternenabstände übertragen. Wir wollen 1. nur Sternenpaare zulassen, die gleiche Höhe über dem Horizonte für beide Sterne aufweisen, und 2. uns ausbedingen, daß der Abstand zwischen beiden nicht über 10° betrage. Dann gilt alles für den Mond Gesagte auch hier. So ist nahe dem Horizonte ein Sternenabstand von 5° in scheinbarer Größe von etwa 3·5 m gesehen; in der scheinbaren Mitte des Himmelsquadranten, also in 22°, 33 über dem Horizonte, macht ein solcher Abstand den Eindruck von etwa 2 m usw.

II. Absolute Größeneindrücke am Horizontradius.

Während wir beispielsweise die ersten, zu uns nächsten 3 m des Horizontradius richtig sehen, verkleinern sich seine ferneren Strecken so sehr, daß er im ganzen einen im Vergleiche zu seiner objektiven Länge nur sehr bescheidenen absoluten Größeneindruck machen kann. Wir wollen versuchen, auch für diese scheinbare Größe einen Zahlenausdruck zu gewinnen.

In meiner Horizontflächenarbeit hatte ich die relativen Größen naher und fernerer Strecken auf abgeteiltem Gelände bestimmt. Jetzt soll der absolute Größeneindruck der Gesamtstrecke Horizontradius durch Vergleich gemessen werden. Aber mehr noch als damals soll alles Intellektuelle, alles was auf bewußter Erfahrung, auf Wissen und Urteil beruht, möglichst ausgeschieden werden und nur dasjenige wirksam bleiben, was völlig zwangsmäßig als Folge des räumlichen physiologischen Sehens in unsere unmittelbare Wahrnehmung eingeht. Wir benutzen deshalb eine Horizontfläche, die keinerlei Hilfsmittel für unser Urteil über Entfernungen enthält — keine Bäume, keine Häuser, keine Schlagschatten, keine Ackerfurchen, keine Meereswogen, keine Menschen usw. Am besten erfüllt diese Anforderungen eine ganz glatte Wasserfläche, die durch den Horizont begrenzt ist. Der Himmel muß ganz wolkenfrei sein, damit nicht durch die sich spiegelnden Wolken, durch ungleiche Reflexe, durch Schatten usw. perspektivische Merkzeichen auf der Wasserfläche liegen. Wir treten bis unmittelbar an das Wasser heran. Bei aufrechter Stellung, bei 1·5 m Augenhöhe, haben wir dann einen Horizontradius von objektiv etwa 4·5 km vor uns.

Um den absoluten Größeneindruck zu bestimmen, den jetzt die Länge des Horizontradius macht, benutzen wir, wie in der Horizontflächenarbeit (1912), die Halbierungsmethode. Es soll nicht der Horizontradius, sondern das Bild des Horizontradius halbiert, sein scheinbarer Mittelpunkt bestimmt werden. Zu diesem Zwecke stellt sich der Beobachter unmittelbar mit seinen Füßen an das Wasser, während ein Badelustiger mit dem Ende einer Meßschnur oder eines Bandmaßes, dessen Rolle der Beobachter in der Hand behält, in der Blickrichtung des letzteren so lange und weit in das Wasser geht, bis dieser den „Mittelpunkt" des Radiusbildes für erreicht hält und halt gebietet. Wie sehr unser Fernsehen sonst durch bewußte Erfahrung, durch Wissen und Urteil bedingt ist, zeigt sich jetzt. Der scheinbare Mittelpunkt des Horizontradius, d. h. die Mitte des Bildes liegt etwa bei 20 m Entfernung — eher bei weniger als jenseits von 20 m. Dies bedeutet, daß die Bildlänge des ganzen

Horizontradius uns knapp wie 40 m erscheint — gemessen an den „richtig“ gesehenen ersten paar Metern des Radius. Und dabei ist er objektiv 4500 m lang.

Jetzt fahre am Horizonte rechtwinklig zu unserer Blicklinie ein Dampfer, dessen Länge von uns unter 31′ gesehen wird. Wir denken uns den Knotenpunkt unseres Auges mit der Mitte der scheinbaren Länge des Schiffes und ebenso mit dem einen Ende der Schiffslänge geradlinig verbunden. Dann bilden diese beiden geraden Linien zusammen mit der halben Schiffslänge ein rechtwinkliges Dreieck, in dem außer dem rechten Winkel noch der am Auge gelegene spitze Winkel gleich 31′/2 und die größere Kathete, d. i. der scheinbare Horizontradius, gleich 40 m bekannt sind. Daher läßt sich die Länge der kleineren Kathete, d. i. die scheinbare Größe der halben Schiffslänge, berechnen. Man erhält für diese den Wert von etwa 0·18 m, also für die ganze scheinbare Schiffslänge 36 cm. Hätten wir die Länge des scheinbaren Horizontradius mit 38·8 m eingesetzt — was vielleicht noch richtiger als 40 m sein würde —, so würden wir genau 35 cm für den rein physiologischen Größeneindruck einer am Horizonte unter 31′ gesehenen Bootslänge erhalten haben — gerade so, wie wir sie im vorigen Kapitel durch Messung gewonnen hatten.

Sollte unsere Messung des scheinbaren Horizontradius völlig zuverlässig sein, so würde unsere vorige Messung der scheinbaren Bootslänge nicht völlig zuverlässig sein und statt der 35 cm würde etwa 36 cm zu setzen sein. Wenn aber diese vorige Messung mehr Zutrauen verdient als unser Halbierungsversuch am Horizontradius, dann ist eben statt 40 m die Länge von 38·8 m für den rein physiologisch-optischen Größeneindruck des Horizontradius hinzustellen.

Man wird sich an den Gedanken gewöhnen müssen, daß bewußte Erfahrung und Urteil mehr Anteil an der Vorstellung der Ferne des Horizontes haben, als dem physiologischen räumlichen Sehen unmittelbar zukommt.

Es darf mit Sicherheit vorausgesetzt werden, daß bei einem etwa dreijährigen Kinde der Horizontradius einen noch geringeren Größeneindruck als 40 m unmittelbar hervorruft, und daß auch dieser Teil des unbedingt zwangsmäßigen räumlichen Fernsehens in den nächsten Jahren eine weitere Entwicklung, eine „Dehnung“ bis zu 40 m, erfährt. Bewußte Erfahrung und Urteil dehnen den Horizontradius später noch weiter, aber doch nur so weit, daß er immer noch hinter der objektiven Länge zurückbleibt. Diese letztere Dehnung betrifft aber ausschließlich die Tiefendimension und wirkt nicht verlängernd auf den am Horizont gesehenen

Dampfer und also auch nicht vergrößernd auf den dort erblickten Vollmond, dessen Entfernungseindruck übrigens nicht über die Länge des scheinbaren Horizontradius hinauskommen kann.

Nun könnte jemand sagen: da hier ein Horizontradius rein intellektuell gedehnt wird, ohne daß gleichzeitig die Länge des auf dem Horizontkreise fahrenden Dampfers, die doch ein integrierendes Stück der Horizontperipherie ist, verlängert wird, so haben wir die für geometrische Betrachtung höchst paradoxe Tatsache, daß psychisch an einem Kreise der Radius verlängert werden kann, ohne daß die Peripherie größer wird.

Aber auch hier liegt nur scheinbar ein Paradoxon, eine Diskrepanz vor. Zwar die Schiffslänge wird nicht gedehnt, aber die Peripherie, d. h. der Horizontkreis wird erweitert. Im rein physiologischen Sehen maßen wir für den Horizontradius vorher 40 m, während wir ihn psychisch wesentlich dehnten, wenn auch nicht bis zum objektiven Maße von 4·5 km. Zu dem Radius von 40 m würde eine Peripherie, ein Horizontkreis von etwa 251·3 m gehören. Schauen wir uns aber von 1·5 m Augenhöhe den Horizont rings um uns an, so erscheint er uns keineswegs so klein, sondern wird auf 6000 m, mindestens auf 3000 m und höchstens auf 18000 m geschätzt, je nachdem ob der Radius auf 1000, 500 oder 3000 m taxiert wird. Sonach wird die Peripherie genau so gedehnt wie der Radius. Jenes Paradoxon liegt also nicht vor. Trotzdem bleibt aber selbstverständlich die Tatsache bestehen, daß die Länge eines rechtwinklig zu unserer Blickrichtung fahrenden Dampfers, die beispielsweise unter einem Winkel von 1° gesehen wird — was für den Dampfer eine objektive Länge von 87·2 m bedeutet —, in einer scheinbaren Größe von etwa 70 cm gesehen wird, gleichviel ob man sich den Horizontradius von 40 m im rein physiologischen Sehen erzeugt oder ob man im unbefangenen, von bewußter Erfahrung modifizierten Hinschauen den Horizontradius bis zu — beispielsweise — 1000 m und mehr dehnt.

Wenn dagegen ein Dampfer direkt auf uns zufährt, wenn also seine Länge mit dem Horizontradius zusammen- und in die Tiefendimension fällt, dann wird, vorausgesetzt, daß die Länge unter mehr als 50″ gesehen wird, auch sie gedehnt. Dies sind die Konsequenzen unseres räumlichen Sehens. Nur die Tiefendimension wird — und zwar am stärksten in horizontaler Richtung — gedehnt.

Wie kommt es aber, daß die Peripherie gedehnt wird, während der einzelne, unter 1° gesehene oder selbst eine Reihe auf dem Horizontkreise dicht hintereinander fahrender Dampfer gleicher Größe an Zahl von 100 oder 135, von denen jeder unter 1° gesehen wird, nicht gedehnt

werden, obwohl doch z. B. diese 100 oder 135 Dampfer ein Drittel der Peripherie bilden und identisch mit dem von uns gesehenen Teile der Peripherie sind? Auch hier ist der Widerspruch nur scheinbar. Jene Kette von 100 bis 135 Dampfern wird, ebenso wie der Horizont überhaupt, wenn wir uns nicht im Kreise um unsere Achse drehend uns ringsherum umschauen, nicht etwa als ein Kreisbogen von 100 bis 135° gesehen, sondern, wie ich früher gezeigt habe[1], als eine gerade Linie bzw. Kette. Diese gerade Linie, die rechtwinklig zur Blicklinie — also auch zur Tiefendimension — steht und also keine Tiefenkomponente in sich birgt, wird nicht gedehnt, wohl aber der die Tiefendimension repräsentierende Horizontradius.

Bleibt unsere Blickrichtung ungeändert, z. B. horizontal, so hängt der Größeneindruck jener nicht tiefendimensionalen geraden Linie des Horizontteiles bzw. ihrer Teilstrecken, wie im ersten Abschnitte dieser Arbeit gezeigt wurde, ausschließlich von dem Sehwinkel ab, und dieser ist objektiv gegeben, kann also durch die bewußte Erfahrung nicht verändert werden. Der Horizontradius aber liegt in der Tiefendimension; er unterliegt also im räumlichen Sehen der Ausdeutung, er ist variabel und wird gedehnt.

Der Horizontkreis dagegen ist eine sekundäre Vorstellung, gewonnen durch sukzessive Wahrnehmungen, die beim Umdrehen und Umherschauen gemacht werden. Die Peripherie dieses Kreises wird entsprechend dem Horizontradius r so gedehnt, daß sie wie bei jedem Kreise gleich $2\pi r$ ist. Das Paradoxon existiert also nicht.

III. Der kritische Punkt.

Um einen „richtigen" absoluten optischen Eindruck von der Größe eines Objektes zu gewinnen, bedarf es eines zwischen bestimmten Grenzen liegenden, je nach der Größe des Objektes verschiedenen Abstandes des Auges vom Objekte. Den minimalen — geradezu selbstverständlichen — Abstand vom Auge bis zum „Nahepunkte" wollen wir nicht besprechen, wohl aber ist folgendes hervorzuheben: bei „größeren" Objekten, z. B. dem Kölner Dom, ist es unmöglich, einen „richtigen" Größeneindruck zu gewinnen. Um überhaupt einen Größeneindruck von dem Dome zu haben, darf das Auge nicht etwa nur 1 bis 10 m vom Objekte entfernt sein. Wir müssen beispielsweise 160 m zurücktreten, um den 160 m hohen Turm überblicken zu können. Alsdann sehe ich den in Augenhöhe liegenden Teil

[1] *Dies Archiv.* 1912. S. 469 u. S. 6.

zwar nicht mehr ganz richtig, sondern wegen der schon recht erheblichen Entfernung etwas verkleinert, aber immerhin viel richtiger als alles andere, zumal als die höher und vertikal gelegenen, unter schiefem Aufblicke perspektivisch verkürzt gesehenen und überdies noch entfernteren Teile. Einigermaßen gilt dieses Unrichtigsehen auch noch für weniger große und selbst für mittlere und kleinere Objekte. Indes darf dies für „mittlere" und „kleinere" Objekte vernachlässigt werden. Einen in diesem Sinne „richtigen" Größeneindruck kann es also nicht bei großen, sondern nur bei mittleren und kleinen Objekten in kleinen und mittleren Entfernungen — diesseits des kritischen Punktes — geben. Aber wenn ein Größeneindruck auch nicht richtig ist, so bleibt er doch „absolut", d. h. er läßt sich in Maßen zahlenmäßig ausdrücken, wozu es nur richtiger Vergleichsobjekte bedarf. Und so ist man auch bei größeren Objekten imstande, den Größeneindruck zu bestimmen.

Um möglichst einfache Versuchsbedingungen zu gewinnen, wählen wir als Objekte und als Vergleichsobjekte zunächst weiße kreisrunde (zylindrische) Papierscheiben verschiedener Größe. Sie werden so aufgestellt, daß ihr Mittelpunkt in Augenhöhe liegt, und daß unsere Blicklinie rechtwinklig zu ihrer (Vorder-)Ebene steht. Unmittelbar neben sie wird die Vergleichsscheibe in gleiche Stellung gebracht. Diese bleibt fest an ihrem Orte, die andere kann in beliebige meßbare Entfernung wandern.

Zunächst hat die Versuchsperson sich von den beiden nebeneinander stehenden Scheiben so weit zu entfernen, daß sie eben gerade einen bequemen Überblick über die Scheiben hat. Dieser erforderliche Abstand nimmt mit der Scheibengröße selbstverständlich zu. Dann wandert die Versuchsscheibe in horizontaler Richtung rückwärts, bis die Versuchsperson, die ihren Platz beibehält, erklärt, daß die Versuchsscheibe kleiner als die stehengebliebene Vergleichsscheibe erscheine. Durch kleinere Hin- und Herwanderungen der Scheibe wird dieser „kritische" Punkt zahlenmäßig festgestellt; diese Zahlen sind selbstverständlich nur Annäherungen.

In folgender Tabelle sind einige Versuchsresultate wiedergegeben. Es bedeutet D den Scheibendurchmesser, A den erforderlichen Abstand, E die gefundene Entfernung des kritischen Punktes vom Knotenpunkte des Auges, S_k die Größe des Winkels, unter dem der Scheibendurchmesser im kritischen Punkte gesehen wird.

Je größer das Objekt, um so ferner vom Auge der kritische Punkt, desto größer auch der erforderliche Abstand des Auges vom Objekte. Der Winkel S_k, unter dem gesehen das Objekt eben noch den richtigen Größeneindruck macht, nimmt mit wachsendem D (Objektgröße) zu, aber

D in m	A in m	E in m	S_k	$\frac{E}{D}$
0·0005	0·18	0·7	0° 2′ 27″	1400·0
0·004	0·2	1·3	0° 10′ 32″	325·0
0·04	0·25	5·5	0° 25′ 0″	137·5
0·1	0·35	11·5	0° 29′	115·0
0·16	0·5	18·3	0° 30′	114·3
0·2	0·65	22·5	0° 30′ 32″	112·5
0·35	0·7	38·8	0° 31′ 0″	110·0

diese Zunahme verlangsamt sich bald — schon bei $D = 4$ bis 10 cm — sehr erheblich und wird zwischen $D = 16$ bis 20 cm minimal. Der Quotient E/D ist bei kleinen Objekten sehr groß, verkleinert sich bald, beginnt bei mittleren Objekten ($D = 10$ cm) sich nur geringfügig zu ändern, nimmt aber später schneller ab. Es muß also bei großen Objekten schließlich der Fall eintreten, daß der mit D wachsende erforderliche Abstand A gleich E wird, d. h. daß das Objekt sofort kleiner wird, sobald man sich von ihm über den erforderlichen Abstand hinaus entfernt. „Große" Objekte haben eben keinen „kritischen" Punkt und können keinen richtigen Größeneindruck machen, wie schon oben betont wurde. Dies tritt schon bei einer Objekthöhe von annähernd der doppelten Augenhöhe ein, also bei etwa 3 m Höhe. Denn wegen der schnell, bei wachsender Objektgröße, zunehmenden Entfernung zwischen Auge einerseits und andererseits dem oberen und dem unteren Ende der Objekthöhe und hauptsächlich wegen des schieferen Aufblickes auf die von der Mitte fernsten Teile des Objektes usw. wird dann der Zustand herbeigeführt, daß bei einer über den erforderlichen Abstand hinausgehenden weiteren Entfernung das Objekt sich sofort zu verkleinern scheint.

Wenn man ermitteln will, wie sich der Größeneindruck gestaltet, den Scheiben jenseits des kritischen Punktes machen, empfiehlt es sich, quadratische Scheiben zu benutzen. Es wurden alsdann zu jedem Versuche fünf gleiche Quadrate verwendet; das eine als Vergleichsobjekt, die vier anderen in folgender Weise. Sobald das eine Versuchsquadrat über den kritischen Punkt hinaus so weit fortgewandert war, daß dieses der Versuchsperson etwa halb so hoch wie das Vergleichsquadrat erschien, wurde aus dem beweglichen und den drei Reservequadraten ein doppelt so hohes (und doppelt so breites), also viermal so großes Quadrat gebildet. Nunmehr wurde festgestellt, bei welchem Abstande dieses neue Versuchsquadrat gleich dem Vergleichsquadrat erschien. Bei den kleinen und mittleren Quadraten war die hierzu erforderliche Entfernung etwa

— aber nicht genau — gleich $2E$, d. h. dem doppelten des Abstandes des kritischen Punktes bis zum Auge.

Bei Benutzung quadratischer Scheiben sieht man noch einiges Besondere. Läßt man eine quadratische Scheibe über ihren kritischen Punkt hinauswandern, so erscheinen sehr bald ihre Ecken abgerundet und bei zunehmender Entfernung wird dann die Scheibe anscheinend kreisrund. Dieser „Kreis" verkleinert sich dann bei weiterem Wandern wie bei einer objektiv runden Scheibe, wird ausdehnungslos usw. Läßt man zwei Quadrate wandern, von denen das eine doppelt so hoch (und so breit) wie das andere ist, so erscheinen sie diesseits der beiden kritischen Punkte in ihrer richtigen Größe. Sobald sie den für das kleinere Quadrat gültigen kritischen Punkt überschritten haben, behält das größere seine richtige Größe bis zu seinem kritischen Punkte, während das kleinere sich bereits verkleinert: alsdann ändert sich das scheinbare Größenverhältnis zuungunsten des kleineren, und zwar auch dann noch, wenn das größere jenseits seines kritischen Punktes sich zu verkleinern beginnt. Und sobald das kleinere „ausdehnungslos", d. h. ein Sternfleckchen geworden ist, ist das Größenverhältnis $= \infty$, so klein und kreisrund auch das größere geworden sein mag.

Diese Beobachtungen liefern das Verständnis für eine Alltagserscheinung. Wenn man mit unbewaffnetem Auge aus größerer Entfernung eine Gruppe wohlbekannter Personen (und Tiere) sehr verschiedener Größe sieht, so erscheinen zwar alle verkleinert, aber die kleineren im Vergleiche zu den größeren unverhältnismäßig klein, winzig.

Neben anderen sachlichen Einflüssen spielt dieser Einfluß mit, wenn aus einer Entfernung, die uns die Häuser einer Stadt bereits sehr klein erscheinen läßt, die Kirchtürme uns mehr, als den Tatsachen entspricht, hochragend erscheinen.

Je größer das Objekt wird, um so weiter rückt — wie schon gemeldet — sowohl der kritische Punkt vom Auge ab als auch nimmt der zur Betrachtung erforderliche Abstand zu. Aber letzterer nimmt später bei Wahl immer größerer Objekte stärker zu als die Entfernung des kritischen Punktes, so daß bei einer Objekthöhe von etwa 3 m (s. oben) beide Werte zusammenfallen. Für diese und noch größere Objekte gibt es — wie erwähnt — keinen kritischen Punkt mehr, sondern sie erscheinen von vornherein verkleinert und verkleinern sich bei weiterer Entfernung noch mehr.

Zu diesen „großen“ Objekten gehören selbstverständlich auch Mond und Sonne. Könnten wir uns beliebig noch weiter von ihnen entfernen, so würden sie sich weiter verkleinern und schließlich ausdehnungslos, d. h. Sterne werden mit der Ausdehnung Null. Wenn aber eine lineare Größe wie der Monddurchmesser scheinbar kleiner und kleiner und schließlich Null wird, so muß sie vorher auch beispielsweise die Werte 35 cm, 20 cm usw. angenommen haben. Und es konnte sich nur um die Frage handeln, wie man die „Messung“ vorzunehmen habe. Durch die Festsetzung des „kritischen Punktes“ ist jetzt diese Messung auf dem Wege der Vergleichung gegeben, während die früheren Vergleichungen dieser Grundlage entbehrten.

Wir haben oben geschildert, daß das Größenverhältnis zwischen einem großen und einem kleinen Quadrate diesseits des kritischen Punktes des kleineren optisch richtig wahrgenommen wird, daß aber jenseits dieses Punktes das scheinbare Größenverhältnis sich zuungunsten des kleineren Quadrates mehr und mehr ändert. Selbstverständlich findet man das gleiche, wenn man statt der Quadrate ganz schmale rechteckige Streifen benutzt. Diese Änderung zeigt sich im gleichen Sinne auch dann, wenn man nur den kleineren Streifen wandern läßt und ihn mit der Größe der zwischen unserem und seinem Fußpunkte befindlichen Fußbodenstrecke vergleicht. Denn obgleich bei zunehmender Größe dieser Strecke die neuen Zuwachse sich mehr und mehr verkleinern, so verkleinert sich doch für das Auge die Gesamtstrecke nicht nur nicht, sondern nimmt — wenn auch in abnehmendem Maße — sogar an Länge zu. Dagegen verkleinert sich die Länge jenes wandernden schmalen Papierstreifens — scheinbar —, sobald er auf seiner Wanderung für unser Auge jenseits des kritischen Punktes gelangt ist. Von diesem Zeitpunkte der Entfernungszunahme an ändert sich in steigendem Maße das von uns wahrgenommene Größenverhältnis zwischen Länge des Streifens und sonstiger flächenhaft (nicht in die Tiefe) wahrgenommener Gegenstände einerseits und andererseits der zwischen uns und dem Streifen bzw. den flächenhaft gesehenen Gegenständen gelegene Fußboden- bzw. Horizontflächenstrecke, und zwar zuungunsten des Streifens und der flächenhaft erscheinenden Gegenstände. Hierbei ist es gänzlich belanglos, ob der Entfernungseindruck richtig oder zu klein ist. Nur muß der Größeneindruck des flächenhaft gesehenen Objektes zu klein sein im Vergleich zur objektiven Größe, das Objekt muß jenseits des kritischen Punktes sich befinden.

IV. Das Weltbild.

In meiner Horizontflächenarbeit[1] hatte ich nachgewiesen, daß wir die Meeresfläche konkav sehen, und hatte die Entstehung dieser Aushöhlung sowie ihre Abhängigkeit von der Aussichtshöhe aufgeklärt. Ich sagte dort: „Wenn rings um uns der Fußboden nach allen Richtungen . . . sich zu heben scheint, so müssen wir beim Umherschauen in einer Vertiefung zu sein vermeinen. Und da beim Blicke in die nächste Nähe der Fußboden horizontal bzw. nur schwach ansteigend erscheint, so kann uns der gesamte Fußboden — die Meeresfläche — nicht etwa wie ein Trichter (Kegel), sondern nur wie ein Uhrglasschälchen, d. h. als nach oben offene Kugelkalotte erscheinen.“ Heute wünschte ich, ich hätte diesen Gedanken — wozu damals allerdings kein Anlaß vorlag — schon damals zu Ende gedacht. Dann würde ich bezüglich des Wortes „Kugelkalotte“ sofort eine einschränkende Bedingung hinzugefügt haben, die im vorliegenden Falle nicht erfüllt ist. Nach dem, was wir jetzt vom physiologischen Bilde erkannt haben, drängt sich diese Berichtigung ohne weiteres auf. Es hätte dort heißen müssen: jene Aushöhlung würde eine Kugelkalotte sein, wenn objektiv gleiche Stücke des Horizontradius allenthalben gleich lang erschienen. Da aber diese Stücke um so kleiner erscheinen, je ferner sie dem Auge liegen, so muß aus der Kugelkalotte ein halbes, in der Äquatorialebene geteiltes Rotationsellipsoid werden, dessen ganze langen Achsen die Horizontdurchmesser und dessen halbe kleine Achse die Augenhöhe sind. Ich unterlasse den Nachweis hierfür, da ich bei früheren Gelegenheiten für den Übergang eines Kreises in eine Ellipse die erforderlichen theoretischen Unterlagen beigebracht habe. Nur das eine möchte ich betonen: das scheinbare Himmelsgewölbe und die scheinbar ausgehöhlte Meeresfläche liefern zusammen jetzt eine einheitliche Form. Die neue Erkenntnis erlaubt außerdem, die Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes an der scheinbaren Gestalt der Meeresfläche zu studieren. Endlich aber gibt der erzielte Fortschritt uns das volle Recht, folgendes hinzustellen: als Kinder von etwa drei Jahren haben wir den „Himmel“ in einer Form und Größe gesehen, die kongruent der war, die damals die Meeresfläche — auf offener See — für uns hatte. Beide zusammen bildeten damals, indem sie sich ihre Konkavitäten zukehrten und sich an ihren kreisrunden (äquatorialen) Rändern berührten, d. h. indem sie den Horizont gemeinsam hatten, ein einheitliches, ganzes Rotationsellipsoid. Erst in den darauffolgenden Jahren, unter zunehmender bewußter Erfahrung,

---

[1] *Dies Archiv.* 1912. Physiol. Abtlg. S. 461, spez. S. 476.

wich der Himmel aus den früher besprochenen Gründen über und vor uns zu größter Höhe und Ferne zurück; der Horizontradius dehnte sich am meisten, die Zenithöhe am wenigsten. Und weil sich der Horizontradius dehnte, vergrößerte und erweiterte sich auch die Meeresfläche, während der Horizont beiden Hohlräumen gemeinsam blieb. Aber im Gegensatze zur Zenithöhe, die sich dehnte, blieb die Augenhöhe, da sie in ihrer Größe „richtig" gesehen wurde, im wesentlichen unverändert, und die Aushöhlung der Meeresfläche vertiefte sich nicht. So mußte sich die Inkongruenz von Himmelsgewölbe und Meeresflächenaushöhlung herausbilden.

Das Weltbild des Erwachsenen gestaltete sich also wie folgt: Oben, mit Konkavität nach unten, das hohe halbe Sphäroid des Himmelsgewölbes, in dem sich die großen Halbachsen zur kleinen Halbachse (Rotationsachse) wie 3·77:1 verhalten. Unten, mit Konkavität nach oben, das minder hohe halbe Sphäroid, das mit jenem oberen den Horizontkreis, also auch die großen Achsen, gemeinsam hat. Die kleine Halbachse ist hier aber im Vergleiche zur Zenithöhe sehr klein — nämlich die Augenhöhe. Daher ist das Größenverhältnis der großen Halbachsen zur kleinen hier viel größer. Mit zunehmender Aussichtshöhe wächst zwar die kleine Halbachse des unteren Halbsphäroids bis zur Höhe von etwa 10000 m, nimmt dann aber wieder progressiv ab. Bis 10 km Höhe bleibt der Horizont — scheinbar — in Augenhöhe; von da an, wenn wir größere Höhen erreichen könnten, würde der Horizont unter uns bleiben und das Weltbild würde entstellt erscheinen.

Wie groß das Verhältnis zwischen großer und kleiner Achse an dem unteren Halbsphäroid für die verschiedenen Augen- bzw. Aussichtshöhen sich gestaltet, sei kurz angedeutet. Objektiv wachsen mit zunehmender Aussichtshöhe beide Achsen, das Verhältnis dieser objektiven Achsengrößen nimmt aber bis zu 10 km Höhe ab, von da an wieder zu. Dieses Verhältnis ist bei Augenhöhe 1·6 m gleich 2812:1, bei 10 km Höhe ist das Minimum erreicht mit 35·7:1. Dieses Verhältnis darf man auch für die scheinbaren Größen gelten lassen; jedenfalls wird es nicht kleiner werden. Und da nun am Himmelsgewölbe dieses Verhältnis gleich 3·77:1 ist, so kann beim Erwachsenen nie und nirgends die Kongruenz der beiden Halbsphäroide zustande kommen, während wir für das etwa dreijährige Kind das Bestehen einer solchen Kongruenz behaupten durften.

Jetzt ist klar, wie das Weltbild des Erwachsenen entstanden ist. Als zwei- und dreijährige Kinder hatten wir das räumliche Sehen für die nächste Umgebung bereits entwickelt. Die Entfernung zwischen unserem Auge und unserem Fußboden wurde richtig gesehen. Auch bis etwas

oberhalb unserer Augen sahen wir richtig, wie auch sonst nach allen Seiten; zumal in horizontaler Richtung war das richtige räumliche Sehen auf etwas weitere Strecken erlernt. Aber der Horizontradius war noch sehr kurz, es fehlte die intellektuell bedingte Dehnung, die Vertiefung noch. Je ferner die Strecken, um so verkürzter erschienen sie — schon damals wie heute — nach allen Richtungen. Daher das rotationsellipsoidische Weltbild des Kindes. Bewußte Erfahrung dehnten allmählich den Horizontradius und dehnte so das Himmelsgewölbe und zugleich die Horizontfläche in horizontaler Richtung. Gleichzeitig wurde der Himmel durch die bewußte Erfahrung in vertikaler Richtung mehr und mehr abgedrängt. Nur die „richtig“ erkannte Augenhöhe blieb ungeändert. Daher unser jetziges Weltbild.

V. Der absolute Größeneindruck der durch ein Rohr hindurch betrachteten Gegenstände.

In einer 1910 veröffentlichten Arbeit[1] hatte ich mitgeteilt: wenn man durch ein enges Rohr, z. B. durch die zum Rohr gekrümmte Hand, einen nahe dem Horizonte befindlichen Gegenstand betrachtet, so erscheint er weniger als halb so groß im Vergleiche zu dem bei gewöhnlichem Hinschauen gewonnenen Größeneindrucke. Dies gilt sowohl für irdische Gegenstände und Wegstrecken, als auch für den Mond und Sternabstände. Je weiter vom Horizonte entfernt das Objekt liegt, je näher es also auf der Horizontfläche unserem Fußpunkte oder am Himmel zum Zenite sich befindet, um so geringer ist die Verkleinerung, die bei etwa 35 bis 40° (vom Horizonte) fast unmerklich und bei 45° bis heran zum Fußpunkte bzw. Zenite gleich Null wird. Durch diese Tatsachen war das „Dehnen“ der sagittal-horizontalen Komponente durch die bewußte Erfahrung erwiesen. Indem das Rohr dem Auge das Material für die Ausdeutung der Entfernung entzieht, ohne den Gesichtswinkel zu ändern, muß der unter ungeändertem Winkel in anscheinend geringerer Entfernung gesehene Gegenstand kleiner erscheinen.

Diese Verkleinerung kommt also nur durch die Ausschaltung der mehr oder weniger bewußten Erfahrung zustande, nicht aber wird die völlig mechanisierte, aus der ersten Kindheit stammende Erfahrung, auf der das erste räumliche Sehen beruht, von diesem Einflusse betroffen. Denn Gegenstände und Strecken, die auf der Horizontfläche nur 3 m von unserem Fußpunkte entfernt sind, werden durch das Rohr

[1] *Dies Archiv.* 1910. Physiol. Abtlg. S. 395ff., spez. S. 399.

nicht verkleinert — ebensowenig wie Mond und Sternenabstände hoch am Himmel.

Haben wir bei freiem Ausblicke — d. h. ohne Rohr — dem eben aufgegangenen Vollmonde durch Vergleichung mit einer in etwa 5 m Entfernung befindlichen gut beleuchteten Vergleichsscheibe einen Durchmesser von 35 cm zusprechen müssen, so bestimmt sich bei Betrachtung mittels des Rohres der Monddurchmesser auf 15 cm. Er ist also nur noch $^{15}/_{35} = ^{3}/_{7} = 0 \cdot 428$ des frei gesehenen. Mit 15 cm Durchmesser zeigt sich der Mond aber ohne Rohr bei 40 bis 45° Zenitabstand bzw. 50 bis 45° über dem Horizonte — also etwa in der astronomischen Mitte des Himmelsquadranten. Im Zenite erscheint der Durchmesser gleich etwa 9 cm. Demnach ist in allmählich wachsendem Maße für den Fußboden die Strecke von etwa 3 m bis zu unserem Fußpunkte, für den Himmel der Bogen von 40 oder 45° bis zum Zenite in bezug auf absoluten Größeneindruck das Wirkungsgebiet der völlig mechanisierten Erfahrung und des zwangsmäßigen räumlichen Sehens. Dagegen ist am Fußboden von etwa 3 m Entfernung an bis zum Horizonte und am Himmel etwa von der Mitte des Quadranten an bis zum Horizonte in allmählich abnehmendem Maße die bewußte Erfahrung bestimmend für das räumliche Sehen und für die absoluten Größeneindrücke. Dort, im Wirkungsgebiete der völlig mechanisierten Erfahrung, wirkt das Rohr nicht verkleinernd. Dort sehen wir sowohl den Fußboden, als auch, nach seinem Muster, den Himmel im wesentlichen als horizontal liegende (ganz schwach sphäroidisch gekrümmte) Ebene — ersteren, weil er, der mechanisierten Erfahrung nach, es wirklich ist, letzteren, weil keine Erfahrung dagegen spricht und weil unser Sehorgan unendliche Räume in der Tiefendimension nicht wahrzunehmen vermag. Daher muß uns der Zenit näher erscheinen als ein 40° von ihm abstehender Himmelspunkt. Daher erscheint uns der Mond im Zenite näher und also kleiner als in 40° Zenitabstand, nicht obwohl, sondern weil er an beiden Punkten unter gleichem Gesichtswinkel gesehen wird.

Über den Gang mit künstlichen Beinen.

Von

Prof. **René du Bois-Reymond**
in Berlin.

Zweiter Abschnitt.

Vergleichung der Bewegung beim schnellen und langsamen Gehen.

I. Angaben von den Gebrüdern Weber und von Marey.

Wenn man mehrere Aufnahmen vom Gang desselben Menschen oder auch Aufnahmen vom Gang verschiedener Menschen miteinander vergleichen will, so stört dabei der Umstand, daß die Ganggeschwindigkeit in der Regel verschieden ist. Wenn man dann zwischen den Bewegungen, die bei schnellerem und bei langsamerem Gehen gemacht worden sind, Unterschiede findet, weiß man nicht, ob diese bloß auf die verschiedene Geschwindigkeit des Ganges oder auf andere Unterschiede zurückzuführen sind.

Insbesondere ist der Gang mit Kunstbeinen meist beträchtlich langsamer als der des Gesunden, namentlich, wenn es sich um ungeübte Kunstbeingeher handelt, und es ist daher unmöglich, zwischen normalem Gang und Kunstbeingang einen Vergleich anzustellen, wenn man nicht zuvor die Unterschiede zwischen den Gehbewegungen bei langsamem und bei schnellem Gang kennengelernt hat.

Schon die Gebrüder Weber[1] und später E. J. Marey[2] haben Vergleichungen zwischen schnellem und langsamem Gehen angestellt, aber nur in bezug auf das Verhältnis von Schrittdauer und Schrittlänge. Man darf sagen, daß über die Unterschiede der Bewegungsform bei schnellem und langsamem Gange, deren Kenntnis eine Vorbedingung für die Ver-

---

[1] *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.* Dritter Teil. Göttingen 1836.

[2] Vgl. Weiss, *Physique biologique.* Paris 1901. Vol. I. p. 167.

gleichung des Ganges verschiedener Menschen ist, bisher überhaupt nichts bekannt ist.

Allerdings liegen die Unterschiede in Dauer und Länge der Schritte den Unterschieden in der Form der Bewegung zugrunde. Es wird daher nützlich sein, in Kürze auf die Ergebnisse der Untersuchungen der Gebrüder Weber und E. J. Mareys einzugehen.

Die Gebrüder Weber haben gefunden, daß bei schnellerem Gehen die Länge der Schritte zunimmt, während zugleich die Dauer abnimmt. Dies Ergebnis ist in ihrem Werke in § 106 in der Tab. 19 mitgeteilt. In den Erörterungen, die sie daran knüpfen, fußen sie durchaus auf der Vorstellung, daß das Bein beim Vorschwingen unbeeinflußt von Muskelkräften eine halbe Pendelschwingung ausführe. Da beide Voraussetzungen, auf denen diese Anschauung ruhte, nämlich, daß das Bein nur bis in die senkrechte Lage schwinge und daß dies ohne Einwirkung von Muskeln geschähe, sich als irrig erwiesen haben, sollen hier nur die Beobachtungen der Gebrüder Weber in Betracht gezogen und ihre Folgerungen unberücksichtigt gelassen werden. Auch auf ihre weiteren Beobachtungen über schnellen und langsamen Gang soll nicht eingegangen werden, weil dabei teils auf den Ballen gegangen wurde, teils die Länge oder die Dauer der Schritte vorgeschrieben wurde, so daß es sich nicht mehr um natürlichen Gang handelt.

Das letzte gilt auch von einem Teil der Untersuchungen Mareys, in denen außerdem die Zahlenangaben so beschränkt sind, daß sie nur den von den Verfassern gezogenen Schlüssen zur Grundlage dienen können.

Demnach sind für den vorliegenden Zweck nur die Angaben der Gebrüder Weber in ihrer Tab. 19 zu gebrauchen. Diese umfaßt die Schrittzahl über 43·43 m, die dazu gehörige Zeit und, daraus berechnet, Schrittdauer, Schrittlänge und Ganggeschwindigkeit. Diese Werte sind für 20 verschiedene Ganggeschwindigkeiten gegeben. Es mögen hier die 20., 11. und 1. Zeile folgen:

	Zahl	Zeit sec	Dauer sec	Länge m	Geschwind. m/sec
20.	109	114·40	1·050	0·298	0·379
11.	59	45·72	0·663	0·629	0·949
1.	51	18·12	0·335	0·851	2·397

Die Betrachtung dieser Zahlen ergibt, daß, während die Geschwindigkeit im Verhältnis von mehr als 1 : 6 zunimmt, die Schrittlänge im Verhältnis von wenig mehr als 1 : 2 wächst und die Schrittdauer im Ver-

hältnis von mehr als 3:1 abnimmt. Wenn man also sagt, daß, um die Geschwindigkeit des Ganges zu erhöhen, zugleich die Schrittlänge erhöht und die Schrittdauer vermindert wird, so ist wohl zu beachten, daß „zugleich" nicht auch „in gleichem Maße" bedeutet. In größter Annäherung wäre es sogar richtiger, zu sagen, daß die Geschwindigkeit des Gehens nur durch Verkürzung der Schrittdauer vermehrt werde, da die Vergrößerung der Schrittlänge viel weniger ausmacht.

II. Durchmusterung der Aufnahmen von schnellem und langsamem Gang.

Aus äußeren Gründen habe ich mich zunächst darauf beschränkt, die Bewegungen von Ober- und Unterschenkel allein aufzunehmen.

Von zwei Versuchspersonen, R. und K., wurden je zwei Proben langsamen und schnellen Ganges aufgenommen, die folgende Zahlen ergaben:

R.: Beinlänge (mit Stiefel vom Boden zum Trochanter gemessen) = 95 cm.
K. (ebenso) = 100 cm.

Name	Nr.	Länge eines einfachen Schrittes cm	Dauer eines Doppelschrittes sec	Geschwindigkeit m/sec
R.	1.	53	1·31	0·81
	2.	64	1·44	0·83
	3.	95	1·84	2·26
	4.	98	1·84	2·36
K.	1.	63	1·96	1·36
	2.	72	1·92	1·56
	3.	89	1·75	2·37
	4.	97	1·75	2·39

Von jeder dieser Proben war gleichzeitig die rechte und linke Ansicht aufgenommen worden, so daß im ganzen 16 Bilder zur Untersuchung vorlagen.

Die planmäßige Durchmusterung der Aufnahmen ergab über die Stellungen des Oberschenkels folgendes (vgl. die Zahlenübersicht I).

Im dritten Stabe ist vermerkt, wie groß die Vorneigung während der Stützung ist, das heißt der Winkel, den der Oberschenkel mit der Senkrechten einschließt in dem Augenblick, in dem die Ferse sich vom Boden zu heben beginnt. Der vierte Stab gibt an, an welcher Stelle der Oberschenkel durch sein Vorwärtsschwingen aus der geneigten Lage in die senkrechte übergegangen ist. Hierdurch soll über die Geschwindigkeit, mit der sich der Oberschenkel gegen den Körper bewegt, Rechenschaft gegeben werden.

0 0,5 1 1,5 m

Fig. 1.
Langsamer Gang. Stellungen des Ober- und Unterschenkels während eines Doppelschrittes, von senkrechter Stützung bis zu senkrechter Stützung. Länge des Doppelschrittes 1·26 m, Dauer 1·16 sec, Geschwindigkeit 1·1 m.

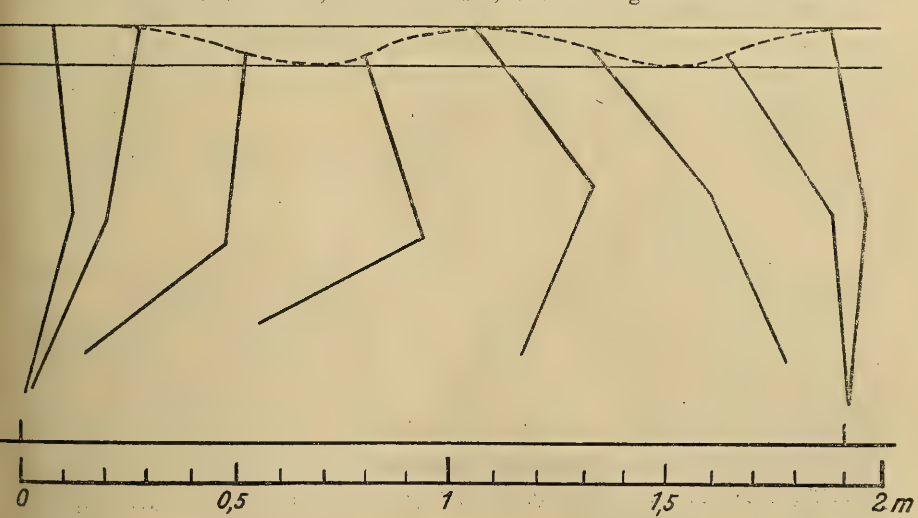


Fig. 2.
Schneller Gang. Wie Fig. 1. Länge des Doppelschrittes 1·90 m, Dauer 0·8 sec, Geschwindigkeit 2·3 m.

Zahlenübersicht I.

Stellungen des Oberschenkels.

1. Aufnahme Nr.	2. Seite	3. Neigungswinkel a. Anfang	4. Senkrecht i. einfach. Schritt	5. Ort größter Beugung	6. Winkel größter Beugung	7. Ob zurückgenommen	8. Winkel am Ende des Schr.
			Langsam:				
R. 1.	links	wenig	vor $^2/_3$	$^4/_3$	32	+	17
	rechts	wenig	vor $^2/_3$	$^4/_3$	22	+	12
2.	links	wenig	$^2/_3$	$^4/_3$	26	+	24
	rechts	11	$^2/_3$	$^4/_3$	32	–	23
K. 5.	links	14	$^2/_3$	$^4/_3$	14	–	17
	rechts	14	nach $^2/_3$	$^4/_3$	14	–	13
6.	links	10	vor $^2/_3$	$^4/_3$	21 (27)	–	20
	rechts	17 (18)	$^2/_3$	$^3/_4$	14	f+[1]	12
			Schnell:				
R. 3.	links	17	$^2/_3$	$^4/_3$	31	f+	30
	rechts	13	$^2/_3$	$^4/_3$	27	f+	30
4.	links	11	$^2/_3$	$^4/_3$	21	–	33
	rechts	15	$^2/_3$	am Ende	24	–	33
K. 7.	links	13	$^2/_3$	am Ende	25	–	25
	rechts	13	$^2/_3$	am Ende	15	–	15
8.	links	wenig	vor $^2/_3$	$^4/_3$	34	f–	30
	rechts	11	$^2/_3$	am Ende	27	–	24

An fünfter und sechster Stelle ist angegeben, an welcher Stelle des einfachen Schrittes die stärkste Vorwärtshebung des Oberschenkels liegt und wie groß der Winkel zur Senkrechten an dieser Stelle ist.

An siebenter Stelle ist ein +-Zeichen gesetzt, wenn der Oberschenkel relativ zum Körper sich wieder dorsalwärts streckt, ein —-Zeichen, wenn der Oberschenkel seine Beugung beibehält.

Im achten und letzten Stabe ist angegeben, wie groß der Winkel ist, den der Oberschenkel mit der Senkrechten einschließt im Augenblick, in dem die Ferse auf den Boden gesetzt wird.

Von Einzelheiten in der Bewegungsform des Unterschenkels wurden ausgemessen die in der Zahlenübersicht II enthaltenen Angaben:

Im ersten und zweiten Stabe stehen Aufnahmenummer und Körperseite, im dritten der Neigungswinkel des Unterschenkels gegen die Senkrechte während des Stützens, im vierten der Winkel gegen die Senkrechte bei stärkster Beugung während des Vorschwingens, im fünften der Ort dieser stärksten Beugung nach der Reihenzahl der aufgenommenen Einzelstellungen im Laufe eines Doppelschrittes, im sechsten der Winkel, um den sich der Unterschenkel zwischen zwei Einzelstellungen am Ende des

[1] f bedeutet „fast gar nicht“.

Zahlenübersicht II.

Stellungen des Unterschenkels.

1. Auf- nahme Nr.	2. Seite	3. Neigungs- winkel i. Stützen	4. Größte Beugung	5. Ort	6. Schleude- rung	7. Neigung beim Aufsetzen
			Langsam:			
1.	links	17 (22)[1]	54	5	30	9 (7)
	rechts	14 (21)	50	5	30	19
2.	links	19 (25)	45	5	30	14
	rechts	25	56	5	30	14
5.	links	17	50	5	35	14
	rechts	14	56	5	28 (28)	9
6.	links	17	47	6	26	12
	rechts	14	—	6	27 (21)	18
			Schnell:			
3.	links	29	57	4	52	10
	rechts	15	65	4	54	22
4.	links	29	66	4	55	16
	rechts	20	66	4	56	18
7.	links	17	59	4	48	25
	rechts	21	—	—	40	19
8.	links	17	53	4	41	11
	rechts	20	57	4	34	14

Vorschwingens bewegt, und endlich im siebenten die Neigung gegen die Senkrechte beim Niedersetzen des Fußes.

Weiter wurden ausgemessen und in einer dritten Übersicht vereinigt: Im dritten Stabe die stärkste Beugung des Knies beim Vorschwung, der Beugungswinkel des Knies während des Stützens und die Winkel, die die Verbindungslinie von Hüft- und Fußgelenk, sozusagen die Längsachse des Beines, beim Abstoßen des Fußes vom Boden und beim Niedersetzen der Ferse mit der Senkrechten macht (vgl. Zahlenübersicht III).

Endlich wurden noch die Formen der Wellenlinien verglichen, die das Hüftgelenk bei jedem Schritte beschreibt (vgl. Zahlenübersicht IV).

An den Zahlenreihen wird auffallen, daß sie geringere Übereinstimmung zeigen, als bei der bekannten Gleichförmigkeit der Gehbewegung zu erwarten wäre. So finden sich für rechte und linke Seite desselben Doppelschrittes erhebliche Abweichungen. Man könnte dies auf Mängel der Versuchsanordnung zurückführen wollen, wie etwa auf den Umstand, daß die Versuchsperson nur wenige Schritte zu machen hatte, wobei es schwer ist, unbefangen und gleichförmig auszuschreiten. Diese Art Fehler sind aber

[1] Die in Klammern beigefügten Zahlen beziehen sich auf einen anderen Schritt derselben Aufnahme.

Zahlenübersicht III.

Stellungen des Knies und Beines.

1. Auf-nahme Nr.	2. Seite	3. Größte Beugung des Knies	4. Knie-winkel i. Stützen	5. Bein beim Aufsetzen	6. Bein beim Abstoßen
		Langsam:			
1.	links	115	14	74	72
	rechts	120	12	75	72
2.	links	109	25	75	71
	rechts	110	18	80	70
5.	links	118	4	70	71
	rechts	125	7	79	71
6.	links	124	7	74	72
	rechts	—	7	81	63
		Schnell:			
3.	links	100	26	67	70
	rechts	107	22	72	63
4.	links	96	31	65	72
	rechts	110	30	73	76
7.	links	118	17	65	73
	rechts	—	25	69	62
8.	links	114	13	70	77
	rechts	120	11	72	61

Zahlenübersicht IV.

Wellenlinie des Hüftgelenkes.

Auf-nahme Nr.	Seite	Gipfel zu Anfang, Mitte oder Ende vom		Schwinghügel größer oder kleiner als Stützhügel
		Schwinghügel	Stützhügel	
		Langsam:		
1.	links	Anfang	Mitte	−
	rechts	Mitte	Ende	−
2.	links	Mitte	Mitte	+
	rechts	Mitte	Mitte	−
5.	links	Ende	Ende	+
	rechts	Anfang	Ende	+
6.	links	Ende	Mitte	=
	rechts	Mitte	Mitte	+
		Schnell:		
3.	links	Ende	Anfang	−
	rechts	Anfang	Anfang	=
4.	links	Ende	Anfang	−
	rechts	Mitte	Anfang	−
7.	links	Mitte	Anfang	=
	rechts	Mitte	Anfang	=
8.	links	Anfang	Anfang	=
	rechts	Mitte	Anfang	=

an der Ungleichförmigkeit der Zahlenreihen nur zum kleinsten Teile schuld. Der Grund, weshalb die Zahlen nicht besser stimmen, liegt vielmehr darin, daß die bei den Aufnahmen abgebildeten Stellungen nur eine kleine Auswahl aus der Gesamtheit der durchlaufenen Stellungen ausmachen, so daß bei der Messung etwa eines Maximums nicht das Maximum selbst, sondern nur die Stellung, die dem Maximum am nächsten kommt, zugrunde gelegt werden kann. Da bei den verschiedenen Aufnahmen die abgebildeten Stellungen auf verschiedene Zeitpunkte im Verlauf des Schrittes fallen, werden die gemessenen Zahlen daher im allgemeinen auch keine genaue Übereinstimmung zeigen können. Die Zahl der Einzelaufnahmen in der Zeiteinheit so weit zu erhöhen, daß dieser Fehler verschwindet, oder die gesuchten Stellungen durch Interpolation genau zu bestimmen, wie es Fischer getan hat, würde die Untersuchung so umständlich und mühsam machen, daß sie, wie das Fischersche Verfahren, nur auf einzelne Fälle angewendet werden könnte.

A. Bewegung des Oberschenkels.

Betrachtet man die einzelnen Zahlenübersichten, so ergibt sich folgendes: In der Bewegung des Oberschenkels zeigt sich nur die etwas lebhaftere Tätigkeit beim schnelleren Gehen, ohne wesentliche Unterschiede in der Form der Bewegung. Der Neigungswinkel am Anfang des Schwingens, also gleich nach dem Abstoßen der Fußspitze vom Boden, ist nach dem dritten Stabe der Übersicht im Durchschnitt um 4° größer als beim langsamen Gehen. Das bedeutet, daß der Oberschenkel zu Anfang des Schwingens entsprechend der breiteren Spreizung der Beine infolge der größeren Länge der Schritte stärker nach vorn übergelegt wird. Die senkrechte Lage wird beim schnellen und beim langsamen Gehen an derselben Stelle im Verhältnis zur Schrittlänge erreicht, wie der vierte Stab ausweist. Im fünften Stab findet sich für den schnelleren Gang im Gegensatz zum langsameren wiederholt als Ort der größten Beugung, das heißt Ventralflexion des Oberschenkels, das Ende der Schwingung angegeben. Der Unterschied ist aber ganz geringfügig, weil gegen Ende des Schwingens der Oberschenkel sich annähernd parallel mit sich selbst bewegt. Der Beugungswinkel bleibt also im allgemeinen gleich oder er nimmt in den im siebenten Stabe mit + bezeichneten Fällen etwas ab. In einzelnen Fällen, in denen die Kniebeugung während des Stützens besonders groß ist, nimmt sie dagegen ein klein wenig zu. Die Bedeutung dieser Bewegung liegt darin, daß beim Vorschwingen des Oberschenkels der Unterschenkel anfänglich zurückbleibt, so daß das Knie

einknickt. Wenn am Ende des Vorschwingens die Bewegung des Oberschenkels verlangsamt wird, beharrt der Unterschenkel in seiner Bewegung, so daß das Knie sich wieder streckt. Die Verlangsamung kann so stark sein, daß der Oberschenkel eine relative Rückwärtsbewegung macht, wie das in den mit + bezeichneten Fällen eingetreten ist. Beim Gehen mit Kunstbeinen spielt diese Bewegung, die als „Zurücknehmen“ des Oberschenkels bezeichnet werden mag, eine wichtige Rolle, und es ist deshalb beachtenswert, daß sie bei schnellem und langsamem Gehen in gleicher Weise auftritt. In der achten, letzten Spalte steht der Neigungswinkel des Oberschenkels beim Aufsetzen des Fußes, der bei dem schnelleren Gang durchschnittlich um 10° größer ist als bei langsamem. Ebenso wie der Neigungswinkel des Oberschenkels beim Abstoßen (dritter Stab), hängt auch dieser Winkel mit der Spreizung der Beine beim Ausschreiten zusammen. Es ist aber wohl zu beachten, daß es sich hier nur um die Neigung des Oberschenkels handelt, die durchaus nicht mit der des ganzen Beines gleichzusetzen ist. Diese hängt nämlich ebensosehr von der Neigung des Unterschenkels ab und kann also je nach dem Beugungswinkel des Knies von dem Neigungswinkel des Oberschenkels abweichen.

B. Bewegung des Unterschenkels.

Die zweite, den Unterschenkel betreffende Zahlenübersicht läßt erkennen, daß nach dem dritten Stab der Neigungswinkel des Unterschenkels gegen die Senkrechte, während der Körper vom Bein unterstützt wird, beim schnellen Gehen merklich größer ist als beim langsamen. Dies hängt mit stärkerer Beugung des Knies zusammen und soll weiter unten besprochen werden. Der vierte Stab zeigt die schon bei der Bewegung des Oberschenkels erwähnte Tatsache, daß der Unterschenkel während des Schwingens gegen den Oberschenkel zurückbleibt, sich also im Knie beugt und daß dies bei schnellem Gehen in merklich höherem Grade geschieht als bei langsamem Gang. Die Durchschnittswerte sind 52° und 60°, der Unterschied also 8°. Daß der Unterschenkel beim Gehen so hoch schwingt, fällt schon beim Betrachten beliebiger Augenblicksaufnahmen von gehenden Menschen stark auf. Noch überraschender ist es, daß diese Bewegung mit der Beschleunigung des Ganges so stark zunimmt. Nach dem bloßen Augenschein würde man nicht glauben, daß bei langsamem Gange der Unterschenkel sich der Wagerechten bis auf 40° nähert und gar bei schnellem auf 30°. Nach dem fünften Stab fällt die größte Beugung während eines Schrittes bei langsamem Gehen am

nächsten an die 5. oder 6. Aufnahme, bei schnellem Gehen am nächsten an die 4. Dieser Unterschied ist aber lange nicht so bedeutend, wie es nach den Zahlen scheinen könnte. Auf einen Doppelschritt entfallen nämlich beim langsamen Gehen etwa 10, beim schnellen Gehen etwa 7 Aufnahmen. Demnach ist der wirkliche Zeitunterschied nicht 5 : 4, sondern 8 : 7. Immerhin sieht man, daß bei der schnelleren Bewegung die größte Beugung schneller erreicht wird.

Daß auch die Streckung zugleich größer und schneller ist, je schneller der Gang, soll der sechste Stab zeigen, der den Winkel angibt, um den sich der Unterschenkel in dem Zeitraum zwischen zwei Aufnahmen dreht. Die geringe Übereinstimmung der Zahlen des siebenten, letzten Stabes verbietet, andere Schlüsse daraus zu ziehen, als daß im allgemeinen der Unterschenkel bei schnellerem Gehen mit größerer Neigung gegen die Senkrechte auf den Boden gesetzt wird als bei langsamem Gehen, was mit der schon wiederholt erwähnten weiteren Spreizung der Beine infolge der größeren Länge der Schritte zusammenhängt.

C. Bewegung des Knies beim Schwingen und beim Stützen.

In der dritten Übersicht zeigt der dritte Stab abermals, daß die Beugung des Knies beim Schwingen für schnellen Gang stärker ist als für langsamen. Das bedeutet, daß der Unterschenkel beim Vorschwingen des Oberschenkels stärker zurückbleibt, wie schon bei der Bewegung des Oberschenkels und des Unterschenkels hervorgehoben wurde. Ausgedrückt durch den Winkel, den Oberschenkel und Unterschenkel im Knie einschließen, wird diese Tatsache wohl am anschaulichsten. Wer würde nach dem bloßen Anblick eines gehenden Menschen schätzen, daß das Knie bei langsamem Gehen 117°, bei schnellem Gehen sogar nur 110° einschließt? Daß also der Unterschenkel zuzeiten fast rechtwinklig auf dem Oberschenkel steht? Der vierte Stab lehrt, daß das Knie auch während der Zeit, in der das Bein die Last des Körpers unterstützt, gebeugt ist. Bei langsamem Gehen ist diese Beugung gering, im Durchschnitt der vorliegenden Zahlen 12°, bei schnellem Gehen aber merklich, im Durchschnitt 22°. Schon die Gebrüder Weber haben angegeben, daß bei schnellem Gehen die Hüftgelenke und mit ihnen der ganze Rumpf niedriger über dem Erdboden hingetragen werden als bei langsamem Gehen. Das ist nur ein anderer Ausdruck für die stärkere Beugung der Knie während der Stützung, das heißt kurz vor und nach dem Augenblick, in dem das Hüftgelenk sich senkrecht über dem Fußgelenk (streng-

genommen über dem Mittelpunkt des Bodendruckes gegen die Fußsohle) befindet. Durch diese Beugung des Knies wird die schematische Darstellung der Gehbewegung in dem Punkte änderungsbedürftig, daß eigentlich nicht gesagt werden darf, daß der Rumpf bei seiner Bewegung nach vorn einen Kreisbogen um den auf dem Boden stehenden Fuß beschreibe. Da das Knie gebeugt und mithin die Länge des Beines veränderlich ist, kann die Kurve, die das Hüftgelenk beschreibt, von der Kreiskurve beliebig abweichen. Auf die mechanische Bedeutung dieses Umstandes soll weiter unten eingegangen werden.

D. Verhältnis von Abstoß- und Aufsetzwinkel zur Schrittlänge.

Der fünfte und sechste Stab geben die Winkel an, die das ganze Bein mit der Wagerechten bildet in dem Augenblick, in dem der Fuß auf den Boden gesetzt wird, und in dem Augenblick, in dem er den Boden verläßt. Der Winkel ist bestimmt durch die Lage der Verbindungslinie von Hüftgelenk und Fußgelenk, ist also verschieden von den oben erwähnten Neigungswinkeln von Oberschenkel und Unterschenkel. Die hier betrachteten Winkel, „Aufsetz- und Abstoßwinkel des Beines“, gewähren offenbar einen Maßstab für das Ausspreizen der Beine bei Vergrößerung der Schritte. Man sollte daher meinen, daß die beiden Winkel mit der Änderung der Schrittlänge sehr wesentliche Änderung zeigen würden, und daß darin sogar der Hauptunterschied zwischen langsamem und schnellem Gehen gelegen sein würde. Annähernd kann man sagen, daß zu der Zeit, während der eine Fuß noch abstößt und der andere schon auf dem Boden steht, beide Beine die Schenkel eines gleichschenkligen Dreiecks bilden, dessen Basis gleich der Schrittlänge ist. Je größer unter sonst gleichen Bedingungen die Schrittlänge, desto größer muß auch der Winkel an der Spitze des gleichschenkligen Dreiecks sein und desto kleiner die Basiswinkel. Nun sind aber nach den Messungen die Aufsetz- und Abstoßwinkel, das ist die Basiswinkel des „Beindreiecks“, bei langsamem Gehen sehr wenig größer als bei schnellem Gehen. Der Durchschnitt für sämtliche Aufnahmen ist bei langsamem Gehen 74°, bei schnellem Gehen 68°. Selbst wenn man die Beinlänge nach oben abgerundet zu 100 cm annimmt, erhält man für die gemessenen Größen der Basiswinkel nur eine Dreiecksbasis oder Schrittlänge von 56 cm für den langsamen und 75 cm für den schnellen Gang. In Wirklichkeit waren aber, wie aus den oben angegebenen Zahlen ersichtlich ist, die durchschnittlichen Schrittlängen 0·63 m bei dem langsamen und 0·95 m bei dem schnellen Gang. Um

diesen Werten bei einer Beinlänge von 1 m zu genügen, müßten die Basiswinkel des Beindreiecks zu 71° für den langsamen und 62° für den schnellen Gang gefunden worden sein. Also in dem Merkmal, in dem man erwarten sollte, den größten Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gange zu finden, findet man nur einen ganz geringen. Das ist natürlich auch der Grund, weshalb im ganzen die Stellungen der Beine beim schnellen und langsamen Gehen so wenig Verschiedenheit zeigen. Wie ist es aber möglich, daß bei dem großen gemessenen Unterschied in der Schrittlänge, 0·63 m und 0·95 m, die Basiswinkel des Schrittdreiecks so geringe Unterschiede aufweisen? Der Widerspruch, der zu dieser Frage führt, lehrt, daß zwischen der wirklichen Gehbewegung und der schematischen Auffassung, nach der die Beine beim Schreiten als Dreiecksseiten betrachtet werden, wesentliche Unterschiede bestehen. Die Auffassung des Schrittes als einer reinen Winkelbewegung der Beine trifft eben nur in grober Annäherung zu. In Wirklichkeit ist der Vorgang durch mehrere Umstände beeinflußt, die bewirken, daß bei verhältnismäßig geringer Winkelbewegung der Beine dennoch eine verhältnismäßig große Schrittlänge erreicht wird. Erstens hebt sich beim Abstoß der Fuß auf den Ballen und das Fußgelenk beschreibt dabei um den Ballen einen Kreisbogen, durch den es sich nach oben und zugleich nach vorn bewegt. Zweitens wird durch die Streckung des Fußgelenkes die Beinlänge vergrößert, wodurch bei gleichem Abstoßwinkel das Hüftgelenk weiter nach vorn gelangt. Drittens bildet in dieser vorgeschobenen Stellung das Hüftgelenk nicht die Spitze eines Dreiecks, das die Schrittlänge zur Basis hat, sondern weil das Becken beim Ausschreiten um die senkrechte Mittelachse gedreht wird, kann das Hüftgelenk der anderen Seite um mehrere Zentimeter vorgeschoben sein, wodurch aus dem Beindreieck ein Trapez wird. Aus diesen Verhältnissen erklärt sich zur Genüge, daß die Schrittlänge nicht in einfacher Beziehung zu Beinlänge und Abstoß- und Aufsetzwinkel steht. Diese Tatsache ist deswegen bemerkenswert, weil die Auffassung der Gebrüder Weber über den Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gehen wesentlich darauf beruhte, daß sie die Bewegung der Beine als eine reine Winkelbewegung nach dem Schema eines Dreiecks mit der Schrittlänge als Basis behandelten. Für den tatsächlichen Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gehen hat die vorstehende Betrachtung vor allem die Bedeutung, daß sie erklärt, weshalb die Stellungen der Beine verhältnismäßig so geringe Unterschiede zeigen. Außerdem ist daraus zu entnehmen, daß die erwähnten Umstände: Streckung des Fußgelenkes und Drehung des Beckens, bei schnellem Gehen viel stärker hervortreten als bei langsamem, denn der Abstand zwischen der schema-

tisch aus Abstoß- und Aufsetzwinkel berechneten und der in Wirklichkeit vorhandenen Schrittlänge ist bei schnellem Gehen viel größer als bei langsamem: 0·75 m berechnet, 0·95 m gemessen bei schnellem, 0·55 m berechnet, 0·63 m gemessen bei langsamem Gehen. Vergleicht man endlich noch die Zahlendurchschnitte für die ganzen Reihen der Abstoßwinkel mit denen der Aufsetzwinkel, so zeigt sich, daß bei langsamem Gehen kein Unterschied zu bemerken ist: das Beindreieck stellt sich als ein gleichschenkliges dar. Bei schnellem Gehen sind dagegen die Abstoßwinkel im Durchschnitt kleiner als die Aufsetzwinkel. Dies hängt mit der stärkeren Streckung des Fußgelenkes und dies wieder mit der Notwendigkeit zusammen, für den längeren Schritt einen stärkeren Abstoß zu geben.

E. Die Bahn des Hüftgelenkes.

In der vierten Zahlenübersicht ist weiter eine Zusammenstellung darüber gegeben, wie sich die Wellenlinie verhält, die das Hüftgelenk beim Gehen beschreibt. Nach Fischers Messungen darf man annehmen, daß die Hebungen und Senkungen dieser Linie ziemlich genau denen des Körperschwerpunktes entsprechen. Die Bahn des Hüftgelenkes zeigt zwei Erhebungen, von denen die eine nahe an der Stellung liegt, in der das Bein in senkrechter Lage den Körper unterstützt, die andere nahe an der Stellung, in der sich das andere Bein in dieser Lage befindet. Der Kürze wegen sei die erste als „Stützhügel", die zweite, während der das beobachtete Bein schwingt, als „Schwinghügel" bezeichnet. Nach Fischer ist die Wellenlinie des Hüftgelenkes bei normalem Gange regelmäßig, denn die geringen Unterschiede, die seine Messungen erkennen lassen, heben einander nahezu auf. Ebenso verhalten sich, wie man sieht, die Angaben im ersten Stabe der vierten Übersicht. Dagegen fällt auf, daß beim zweiten Stab der Gipfel des Stützhügels für den schnellen Gang ausnahmslos am Anfang des Hügels liegen soll, während beim langsamen Gang die Angaben verschieden lauten. Das würde bedeuten, daß der Stützhügel bei schnellem Gehen aus einem steilen aufsteigenden und einem flacher abfallenden Schenkel besteht. Die Hebung des Schwerpunktes würde demnach nicht nur höher, sondern auch steiler sein. Da es sich aber nur um eine Steigung von im Mittel 1:25 handelt, ist dieser Unterschied nur gering.

Mit Rücksicht auf Erfahrungen, die bei der Untersuchung des Gehens mit künstlichen Beinen gemacht worden waren, ist in dem dritten Stabe angegeben, ob der Schwinghügel und der Stützhügel gleich oder ver-

schieden hoch ausfallen. Der Fall, daß der Schwinghügel der größere ist, ist mit +, das Gegenteil mit −, Gleichheit mit = bezeichnet. In Fischers Aufnahme ist bald das eine, bald das andere zu finden, woraus man schließen darf, daß normalerweise Gleichheit besteht. Aus der vorliegenden Beobachtungsreihe könnte abgeleitet werden, daß das Verhältnis sich bei schnellem Gehen etwas zugunsten des Stützhügels verschiebt, weil dieser bei langsamem Gehen viermal, bei schnellem keinmal kleiner gefunden wird als der Schwinghügel. Doch dürfte weder die Zahl, noch die Genauigkeit der Beobachtungen für diesen Schluß groß genug sein.

Beide Hügel sind aber, und dies ist wohl der bedeutendste Unterschied zwischen den Bewegungsformen des schnellen und langsamen Gehens, beträchtlich höher beim schnellen Gehen als beim langsamen. Die Höhe ist leider an den Aufnahmen nicht genau zu messen, weil die Entfernung des Gehenden vom Objektiv unbestimmt ist. Vergleichung der ganzen Reihe der Aufnahmen zeigt aber, daß die Hebungen bei schnellem Gehen wohl doppelt so hoch werden als bei langsamem. Die Bedeutung dieses Unterschiedes liegt darin, daß von der gesamten Geharbeit ein großer Anteil ausschließlich auf die Hebungen des Körpers entfällt. Der Umstand, daß die Hebungen bei schnellem Gehen größer sind, erklärt also einen großen Teil der Mehrarbeit beim schnellen Gehen.

F. Die seitlichen Schwankungen des Körpers.

Dieser große Unterschied in den senkrechten Schwankungen des Körpers legt es nahe, auch die Schwankungen in der Querrichtung zu untersuchen. Aus den Seitenansichten, von denen bisher die Rede gewesen ist, sind diese natürlich nicht zu ermitteln. Es mußten also zu diesem Zweck besondere Aufnahmen gemacht werden, wobei noch eine besondere Schwierigkeit zu überwinden war. Um die Schwankungen in der Querrichtung aufzunehmen, ist es nämlich das Naheliegendste, die Kamera senkrecht zu den Querschwankungen, also in der Gangrichtung aufzustellen, oder mit anderen Worten: die Gehbewegung gerade von vorn oder von hinten aufzunehmen. Das geht aber nicht an, weil dabei die Einzelabbildungen von jedem Schritte mit denen des folgenden Schrittes zusammenfallen, so daß eine Aufnahme die andere deckt. Um dies zu vermeiden, könnte man freilich die Aufnahmen statt von vorn oder hinten auch gerade von oben machen. Das würde sich in einem hinreichend hohen (7 m) Raum, der womöglich noch mit einer Galerie versehen wäre, auf der man die Kamera anbringen könnte, ganz gut tun lassen. Solch

ein Raum ist aber nicht überall zu finden, und insbesondere stand mir zurzeit keiner zur Verfügung. Dieselbe Schwierigkeit war auch schon bei Fischers Untersuchung hervorgetreten, war aber für ihn nur nebensächlich, weil er von vornherein beabsichtigte, die Bewegung von vier Stellen gleichzeitig aufzunehmen und die verschiedenen Aufnahmen rechnerisch zu dem genauen Gesamtbild der Bewegung zu verarbeiten. Auch dafür wäre es zwar das einfachste gewesen, als die vier Richtungen die von rechts, von links, von vorn und von hinten zu wählen, aber da die Aufnahmen von vorn und von hinten nicht brauchbar gewesen wären, machte es für ihn wenig aus, statt dessen Aufnahmen schräg von vorn und schräg von hinten (unter 30°) zu machen. Dabei schreitet die Abbildung der aufeinander folgenden Stellungen auf der Platte seitlich um

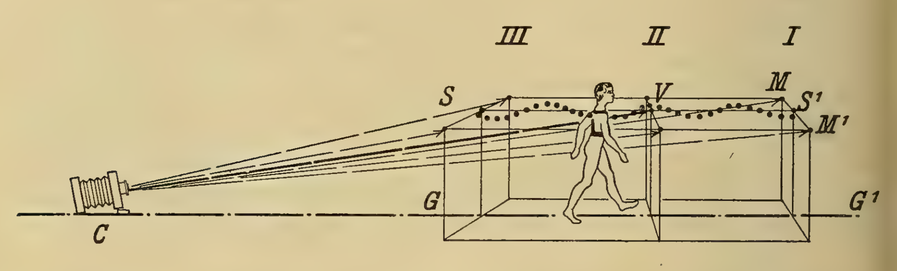


Fig. 3.
Anordnung zur Aufnahme der seitlichen Schwankungen. Die Kamera C steht in gerader Verlängerung der Gangstrecke GG^1 auf dem Fußboden, eingestellt auf den Visierpunkt V. Wenn die Versuchsperson mit der Geißlerschen Röhre die Strecke GG^1 durchgeht, durchläuft die Geißlersche Röhre die punktierte Bahn SS^1, die in Form der Fig. 4 oder 5 auf der Platte abgebildet wird. Bei der gleichen Einstellung werden vorher oder nachher die Meßpunkte M und M^1 in den drei Entfernungen I, II und III auf derselben Platte aufgenommen.

so viel fort, daß sie einander nur zum Teil überdecken und man für die Messungen mit leichter Mühe die zueinander gehörenden Striche und Punkte zusammenfinden kann. Die Berechnung wird nur wenig unbequemer, wenn man an Stelle des rechten Winkels den Winkel von 30° zu setzen hat. Etwas anderes ist es aber, wenn man Aufnahmen haben will, die ohne Messung und Rechnung auf den ersten Blick eine Anschauung von der Bewegungsform gewähren. An einer Reihe von Aufnahmen von Amputierten mit Kunstbeinen, unter verschiedenen Winkeln schräg von hinten gesehen, überzeugte ich mich, daß man aus der seitlichen Projektion der Bewegung keinen anschaulichen Eindruck von den Querschwankungen des Körpers gewinnt. Endlich kam ich auf den Aus-

weg, die Kamera zwar in der Gangrichtung selbst, nämlich gerade hinten aufzustellen, aber die Aufnahme schräg von unten zu machen, was einfach dadurch zu erreichen ist, daß die Kamera ohne Stativ auf den Fußboden gesetzt wird. Wenn zu der Aufnahme ein Objektiv von großer Brennweite benutzt wird und die Kamera auf 7 m eingestellt ist, erhält man von einer Gangstrecke von 4 m (also 5 bis 9 m Entfernung von der Kamera) hinreichend scharfe Abbildung. Wenn die Versuchsperson am Anfang der Gangstrecke, also 5 m vor der Kamera steht, bildet sich ihr Kopf nahe am unteren Rand der Platte ab. Je weiter die Versuchsperson auf der Gangstrecke sich von der Kamera entfernt, um so höher auf der Platte fällt die Abbildung des Kopfes. Ein Lichtpunkt, den die Versuchsperson am Kopfe trüge, würde also, wenn sich die Versuchsperson genau in gerader Linie vorwärts bewegte, sich als eine gerade senkrechte Linie in der Mitte der Platte vom unteren zum oberen Rande abbilden. Finden bei der Bewegung seitliche Schwankungen statt, so muß an Stelle der geraden Linie eine Schlangenlinie treten. Diese Schlangenlinie gewährt eine verhältnismäßig anschauliche Darstellung von den seitlichen Schwankungen beim Gehen (vgl. Fig. 3).

Die im ersten Abschnitt erwähnten Objektive von Busch und von Zeiss mit 45 cm und 49 cm Brennweite genügten den angegebenen Bedingungen. Der Versuchsperson wurde ein Holzstab an dem Kreuz und zwischen den Schultern durch Schnallgurte befestigt, an dessen oberem Ende sich eine Geißlersche Röhre befand, die mit schwarzem Papier bis auf ein Stückchen von 1 cm Länge verhüllt war. Die Röhre wurde durch das Induktorium 7- bis 10mal in der Sekunde zum Aufleuchten gebracht. Die Versuchsperson trat 1 m vor der Gangstrecke an. Die Kamera stand 4 m hinter ihr auf dem Boden und war auf die Mitte der Gangstrecke, das heißt auf einen Punkt in 7 m Entfernung von der Kamera und 1·5 m über dem Boden eingestellt. Die Bahn des Lichtpunktes in der Mitte der Gangstrecke wurde demnach von der optischen Achse der Kamera unter einem Winkel von 14° getroffen. Die 4 m lange Gangstrecke nahm auf der Platte eine senkrechte Strecke von 4 cm ein. Die Bewegung des Lichtpunktes beim Gehen bildete sich bei der Aufnahme als eine punktierte Schlangenlinie ab, deren Wellen den seitlichen Schwankungen des Lichtpunktes entsprachen.

Um das Maß der seitlichen Schwankungen aus der Aufnahme ableiten zu können, sind noch zwei Umstände zu beachten. Da sich die Versuchsperson während der Aufnahme immer mehr von der Kamera entfernt, wird der Maßstab der Aufnahme immer kleiner. Das zeigt sich daran, daß die Schlängelungen der punktierten Linie am unteren Rand

der Platte einen viel breiteren Raum einnehmen als am oberen: Die Schlangenlinie stellt sich als eine Wellenlinie mit abnehmenden Höhen



Fig. 4.

Langsamer Gang. Aufnahme der seitlichen Schwankungen. Die 8 Wellen der punktierten Schlangenlinie entsprechen 8 Schritten. Der Abstand zwischen je zwei Punkten entspricht 0·1 sec. Die Meßpunkte M^1 und M haben 95 cm Querabstand.



Fig. 5.

Schneller Gang. Wie Fig. 4. Die Gangstrecke ist in 4 bis 5 Schritten zurückgelegt. Infolge der hohen senkrechten Schwankungen beim schnellen Gehen sind Ecken in der Wellenlinie aufgetreten.

der Wellen dar. Die Höhe der Wellen muß also in einem im Verhältnis zur Entfernung von der Kamera zunehmenden Maßstab gemessen werden. Um diesen herzustellen, wurden bei jeder Aufnahme noch zwei Lichtpunkte in bekanntem Querabstand (95 cm) am Anfang, in der Mitte und am Ende der Gangstrecke in derselben Höhe über dem Boden wie der von der Versuchsperson getragene Lichtpunkt auf dieselbe Platte photographiert. Dadurch wurde die Platte gleichsam mit einer Reihe zunehmender Maßstäbe für die Breitenausdehnung der Wellenlinie versehen. Indem diese Meßpunkte durch gerade Linien verbunden wurden, ergaben die Punkte der Verbindungslinien auch für jede beliebige Stelle der Schlangenlinie den richtigen Breitenmaßstab. Bei dem wirklichen Abstand der Lichtpunkte von 95 cm war die Breite der Abbildung am Eingang der Gangstrecke 9 cm, in der Mitte 6 cm, am Ende 5 cm. Für die Messung ist wesentlich, daß die Lichtpunkte, die den Breitenmaßstab bilden, in derselben Höhe über dem Boden stehen wie der bewegte Lichtpunkt. Da aber der bewegte Lichtpunkt die Hebungen und Senkungen des Körpers beim Gehen mitmacht, so ist diese Bedingung nicht genau innezuhalten. Der Einfluß der senkrechten Schwankungen zeigt sich an den Aufnahmen sehr deutlich darin, daß die Wellen der Schlangenlinie nicht annähernd gleichförmig an- und absteigen, sondern an den Stellen, die den Hebungen entsprechen, Ecken aufweisen. Die Aufnahme von hinten und unten kann daher (ebensowenig wie jede andere Aufnahme von *einem* Punkte aus) nicht zu *genauer* Messung der Querschwankungen dienen, wohl aber läßt sie Vergleichung der Größe der Querschwankungen bei schnellem und langsamem Gehen zu.

Im Gegensatz zu den senkrechten Schwankungen zeigt sich, daß die seitlichen Schwankungen beim langsamen Gange viel größer sind als beim schnellen. In beiden Fällen waren sie auf den bisher untersuchten Aufnahmen, die sämtlich von mir selbst herrühren, bedeutend größer, als ich erwartet hatte. Nach *Fischer* beträgt die Querschwankung der ,,Schulterlinienmitte“, das heißt des Mittelpunktes der Verbindungslinie der Schultergelenkmitten, nur etwa 16 mm nach jeder Seite, also etwa 3·5 cm im ganzen. Bei den vorliegenden Aufnahmen von schnellem Gange entspricht dagegen die Höhe der Wellenlinie Schwankungsbreiten von mehr als 5 cm, beim langsamen Gang sogar fast von 20 cm. Dabei ist allerdings in Rechnung zu bringen, daß sich der Lichtpunkt nicht in Schulterhöhe, sondern ein Stück höher, etwa in der Höhe des Hinterhauptes befand, wodurch die Ausschläge etwas vergrößert abgebildet werden mußten. Außerdem kommt in Betracht, daß bei dieser Art Aufnahme die Versuchsperson nur wenige Schritte vorwärts gehen darf, weil der Bereich der deutlichen

Abbildung ja ziemlich eng begrenzt ist. Die 4 bis 7 Schritte, die dabei herauskommen, können kaum so gleichmäßig und ruhig gemacht werden wie bei dauerndem Gehen. Trotz dieser Mängel dürften die Aufnahmen das sichere Ergebnis liefern, daß die Seitenschwankungen bei langsamem Gehen größer sind als bei schnellem.

Dieser Befund, der allerdings paradox erscheint, erklärt sich sehr einfach. Fragt man nach der Ursache der seitlichen Schwankungen, so wird man zunächst an die einseitige Unterstützung des Körpers zu denken haben. Dies wird auch in den Lehrbüchern angegeben, insbesondere in Beziehung auf den Gang der Pferde, bei dem die „diagonale" und die „rein seitliche" Stützung unterschieden wird. Der Körper fällt, weil er einseitig unterstützt ist, nach der anderen Seite, wird von dem inzwischen auf den Boden aufgesetzten anderen Bein aufgefangen und fällt, da er nunmehr von der anderen Seite einseitig gestützt wird, wieder zurück. Die treibende Kraft ist hier allein die Schwerkraft, und die Schwankungen verlaufen daher gesetzmäßig, ähnlich wie Pendelschwingungen. Die Geschwindigkeit des Ganges wirkt auf den Vorgang gar nicht ein, sondern der Unterschied in der Größe der Schwankungen entsteht einfach durch die längere Dauer der Schritte beim langsamen Gehen. Diese Betrachtung läßt sich durch Rechnung bestätigen. Es sind dabei allerdings noch mehrere Umstände zu berücksichtigen, durch die die Bewegungsbedingungen sich etwas verwickelter gestalten. Erstens nämlich muß man, um die Geschwindigkeit der Fallbewegung zu finden, das Trägheitsmoment des Körpers, bezogen auf den unterstützenden Fuß als Drehpunkt, in Rechnung ziehen, denn dieses Trägheitsmoment hat die im Schwerpunkt angreifende Schwerkraft zu überwinden. Zweitens kann die Wirkung der Schwerkraft vorübergehend verstärkt erscheinen durch die Streckkraft des stützenden Beines, indem der Körper gewissermaßen schräg vorwärts gehoben wird, statt bloß zu fallen. Dies spielt indessen nur eine nebensächliche Rolle. Dagegen ist endlich drittens die Schwingung der Arme zu bedenken, die die Querschwankungen erheblich einschränken kann. Die Tätigkeit der Arme ist unzweifelhaft beim schnellen Gehen lebhafter als beim langsamen und trägt wahrscheinlich wesentlich dazu bei, daß die seitlichen Schwankungen beim schnellen Gehen kleiner ausfallen als beim langsamen.

G. Beschleunigung und Verzögerung.

Einen weiteren Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gehen haben schon die Gebrüder Weber in der Haltung des Rumpfes gefunden, der bei schnellem Gehen stärker vorwärts geneigt sei. Fischer hat ge-

zeigt, daß der Rumpf beim Gehen keine feste Haltung bewahrt, sondern Schwankungen nach vorwärts und rückwärts ausführt, also bald mehr,

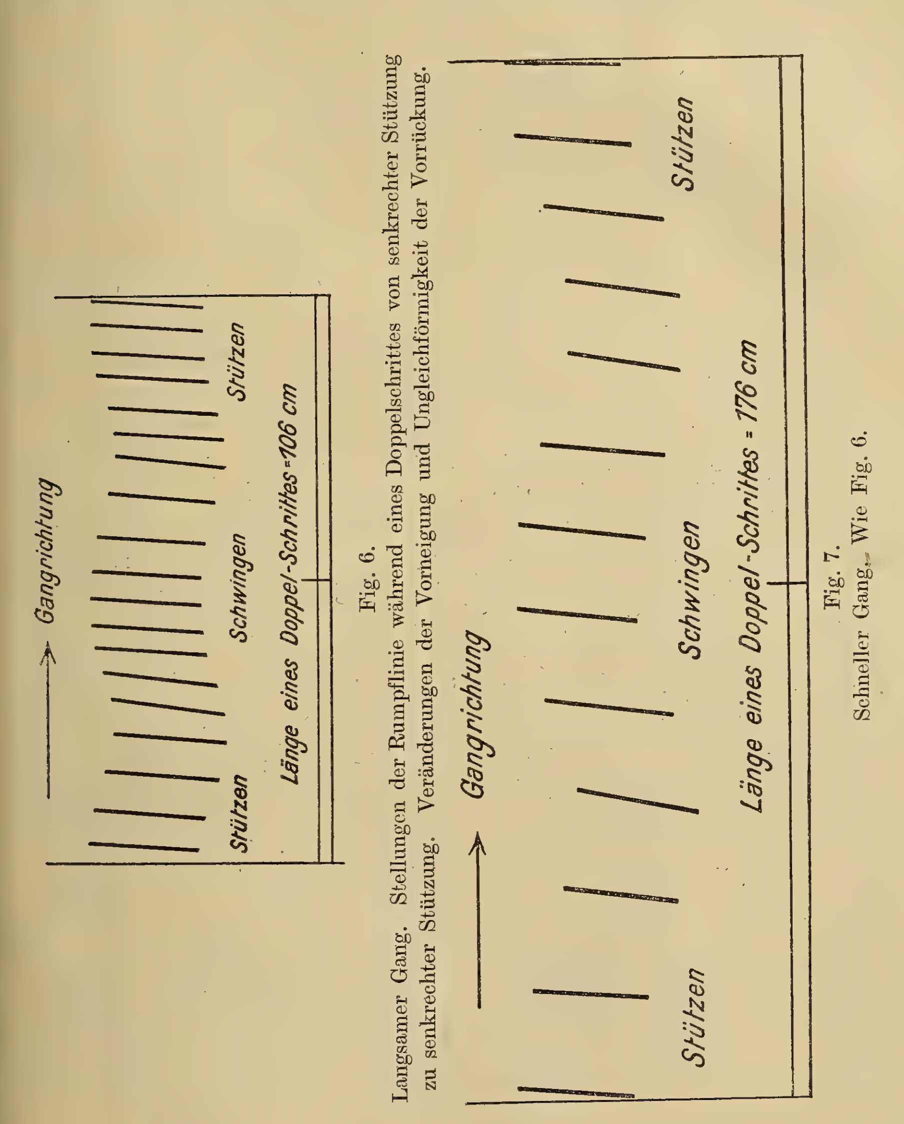


Fig. 6.
Langsamer Gang. Stellungen der Rumpflinie während eines Doppelschrittes von senkrechter Stützung zu senkrechter Stützung. Veränderungen der Vorneigung und Ungleichförmigkeit der Vorrückung.

Fig. 7.
Schneller Gang. Wie Fig. 6.

bald weniger vorwärts geneigt ist. Die Vorwärtsneigung nimmt mit jeder Senkung der Hüfte zu und nimmt vor einsetzender Hebung wieder ab, so daß ihr Maximum ungefähr mit dem Minimum der Hüftenkurve zusammentrifft, ihr Minimum etwas vor jedem Maximum der Hüftenkurve

gelegen ist. Nach Fischer handelt es sich dabei um abwechselnde Vorwärts- und Rückwärtsneigungen des Rumpfes, doch ist wohl kein Zweifel, daß hierin die Haltung verschiedener Menschen sehr verschieden sein kann. Auf meinen Aufnahmen finde ich nur Vorwärtsneigung von verschiedenem Grade. Das Minimum tritt erst nach dem Maximum der Hüfthebung ein. Die Neigungen sind bei schnellem Gehen merklich größer als bei langsamem; sie betragen bei gegen 2 m Ganggeschwindigkeit bis zu 10°, während bei gegen 0·75 m Ganggeschwindigkeit kaum 5° erreicht werden.

Es blieb noch die größere oder geringere Ungleichförmigkeit der Geschwindigkeit des Gesamtkörpers in der Gangrichtung zu untersuchen. Dazu konnten dieselben Aufnahmen dienen, die die Neigungen der Rückenlinie zeigten, denn die Vorrückung der Rückenlinie darf der Vorrückung des Gesamtkörpers gleich geachtet werden.

Die Wege, die der Körper beim schnellen Gange in 0·1 Sekunden Zeitabstand zurückgelegt hatte, schwanken etwa zwischen 22 cm und 18 cm. Die größten verhielten sich also zu den kleinsten wie 5 : 4. Beim langsamen Gang kamen auf 0·1 Sekunden nur etwa 4 cm bis 6 cm. Das Verhältnis der größten Abstände zu den kleinsten war also hier 3 : 2. Demnach könnte man sagen, die Ungleichförmigkeit der Bewegung sei bei langsamem Gehen größer. Drückt man aber die Beschleunigung oder Verlangsamung der Bewegung, die zu diesen Ungleichförmigkeiten führt, dadurch aus, daß man die Bewegung des Körpers auf einen mit derselben mittleren Geschwindigkeit gleichförmig vorwärts bewegten Punkt bezieht, so kommt man zu der entgegengesetzten Auffassung: Bei schnellem Gehen bleibt der Körper gegen den mit der mittleren Geschwindigkeit (20 cm in 0·1 Sekunden) vorrückenden Punkt bald um 2 cm zurück, bald eilt er um 2 cm vor, während bei dem langsamen Gang die Unterschiede nur je 1 cm ausmachen. In der Beschleunigung und Verlangsamung der Bewegung besteht ein wesentlicher Teil der Arbeitsleistung beim Gehen. Die erhöhte Ungleichförmigkeit der Bewegung ist eine der Ursachen, weshalb das schnelle Gehen unverhältnismäßig anstrengender ist als das langsame.

III. Zusammenfassung.

Für die Untersuchung des Ganges mit Kunstbeinen ist es eine unerläßliche Vorbereitung, daß man die Unterschiede in der Bewegung bei schnellem und langsamem Gehen kennen lernt, weil der Gang mit künstlichen Beinen im allgemeinen langsamer ist als der normale Gang. Bisher liegen Untersuchungen dieser Art nur nach der Richtung vor, daß die

Verhältnisse von Schrittdauer und Schrittlänge von den Gebrüdern Weber und von Marey festgestellt worden sind. Die Unterschiede der Bewegungsform im einzelnen sind noch nicht untersucht.

An zwei Versuchspersonen wurden je zwei Aufnahmen von schnellem und von langsamem Gange von beiden Seiten gemacht, so daß im ganzen 16 Aufnahmen zur Vergleichung vorlagen. Schrittlänge, Schrittdauer und Geschwindigkeit schwankten in diesen Aufnahmen zwischen 53 cm, 0·72 sec, 0·81 m und 98 cm, 0·45 sec, 2·39 m.

Beim Vergleich der Aufnahmen von schnellem und langsamem Gang ergab sich: Bei schnellem Gang wird der Oberschenkel stärker bewegt als bei langsamem. Beim Abstoß hat er durchschnittlich 4°, beim Aufsetzen 10° mehr Neigung gegen die Senkrechte. Im übrigen ist die Bewegung dieselbe wie bei langsamem Gehen, insbesondere ist die Verlangsamung der Vorwärtsbewegung, durch die der Unterschenkel vor dem Aufsetzen gestreckt wird, in beiden Fällen dieselbe.

Der Unterschenkel wird ebenfalls beim schnellen Gehen heftiger bewegt: Er wird beim Schwingen des Beines im Durchschnitt um 8° mehr gebeugt, so daß das Knie bei schnellem Gang durchschnittlich nur 110° einschließt.

Auch während das Bein den Körper stützt, ist das Knie bei schnellem Gang bedeutend stärker gebeugt als bei langsamem (22° zu 12°).

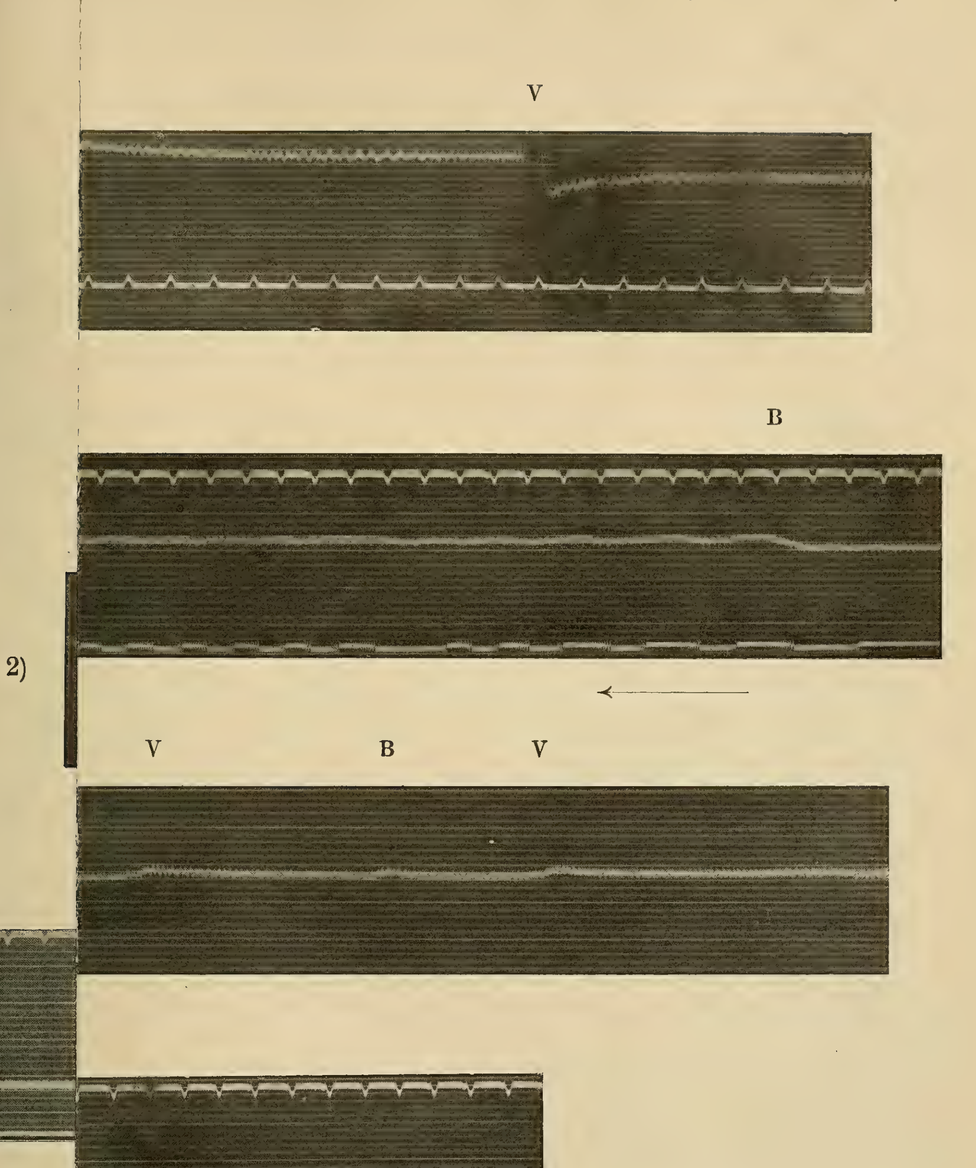
Der Winkel, um den die Beine beim Ausschreiten auseinander gespreizt werden, gemessen nach der Verbindungslinie von Hüftgelenk und Fußgelenk, unterscheidet sich bei schnellem und langsamem Gang weit weniger als die zugehörige Schrittlänge, und die Abweichung der aus den Winkeln berechneten von der wirklichen Schrittlänge ist bei schnellem Gang bedeutend größer als bei langsamem, ein Zeichen, daß die Streckung der Fußgelenke und die Drehung des Beckens bei schnellerem Gehen größere Bedeutung gewinnen.

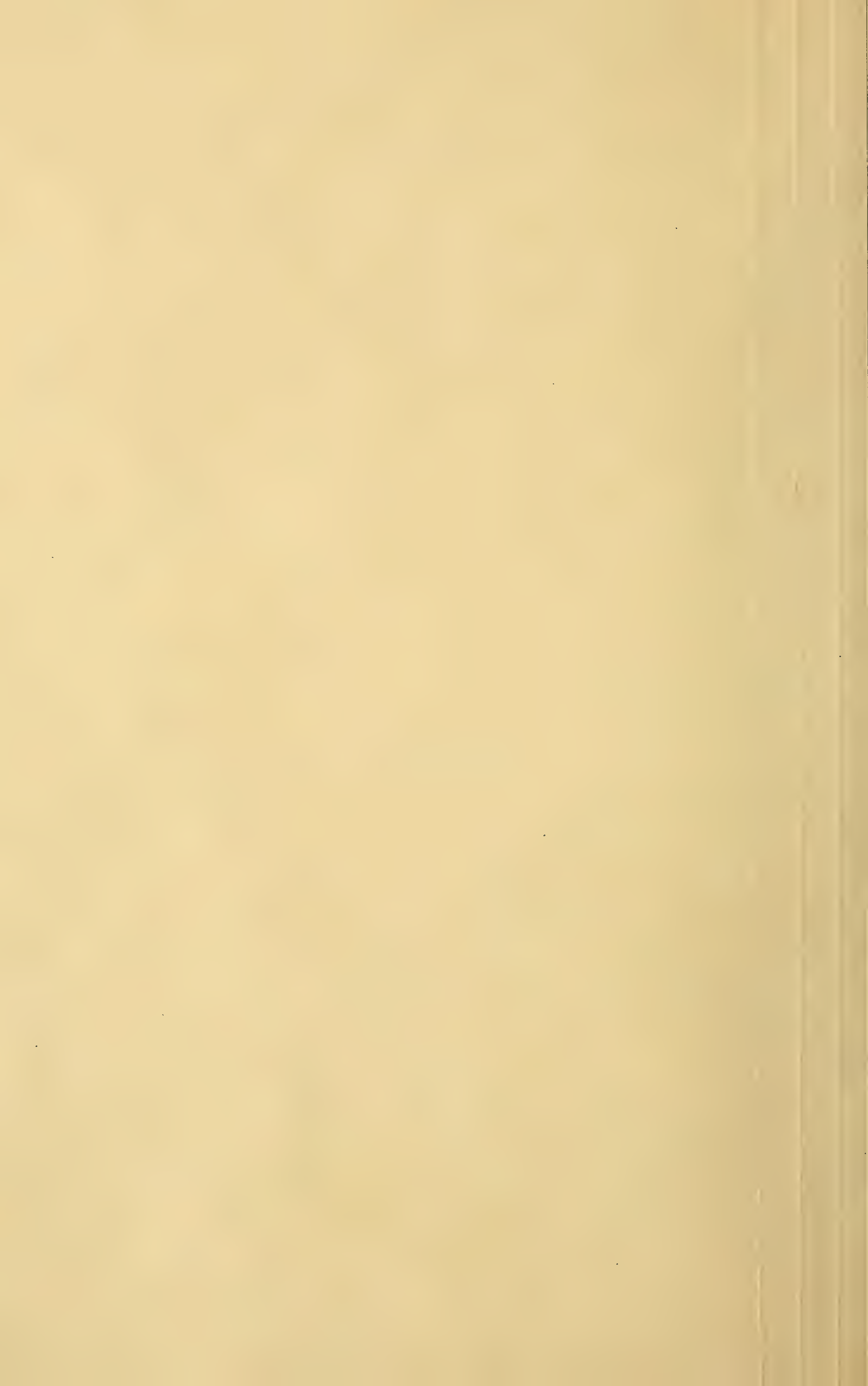
In der Form der Bahn des Hüftgelenkes, die der des Körperschwerpunktes nahezu gleichgesetzt werden darf, ist kein Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gang zu finden, wohl aber sind die senkrechten Schwankungen bei schnellem Gang beträchtlich, um mehr als das Doppelte höher.

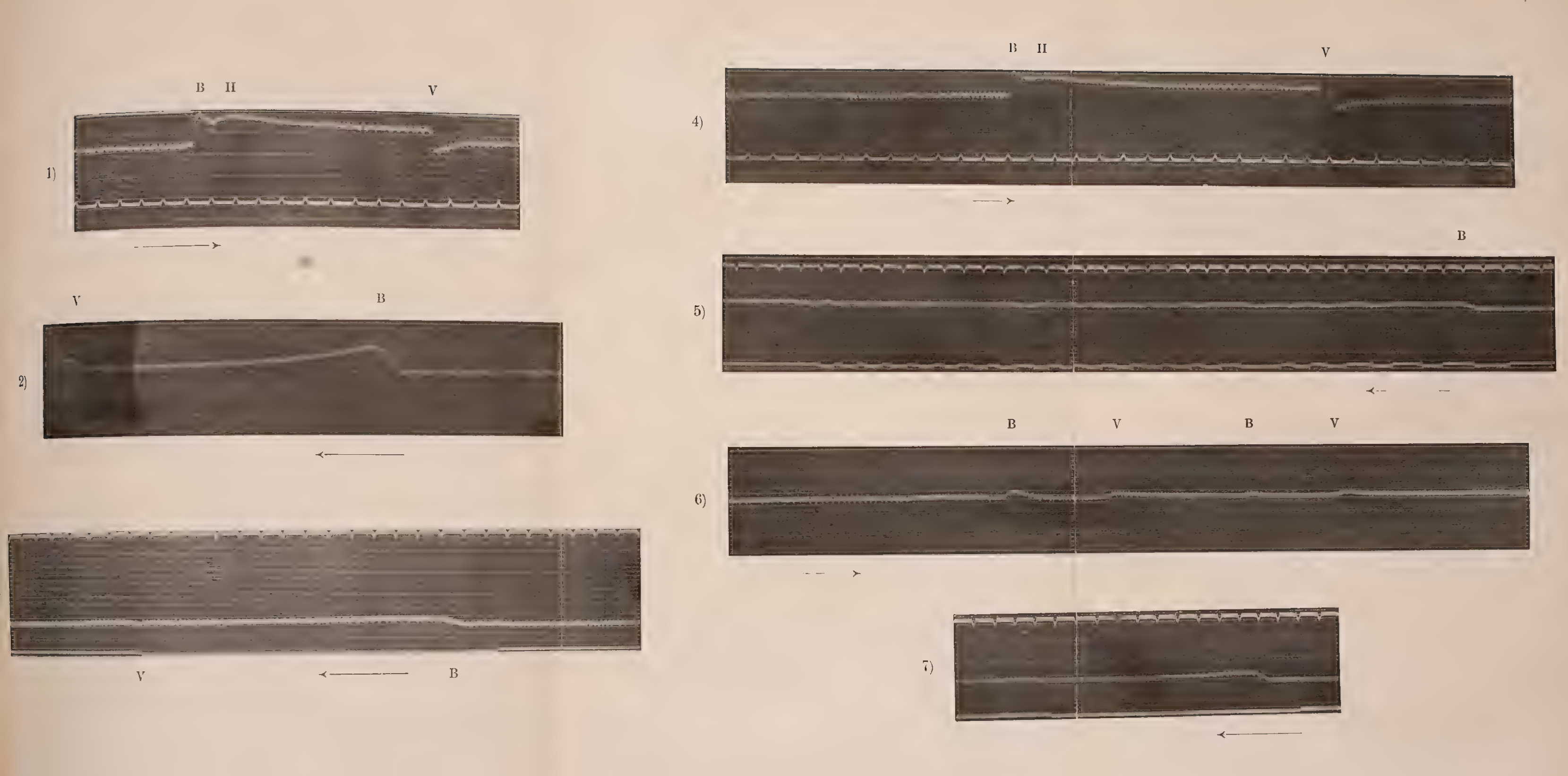
Die seitlichen Schwankungen des Körpers sind bequem aus Aufnahmen zu ersehen, die gewonnen werden, indem man die Kamera gerade hinter der Versuchsperson auf den Boden setzt, so daß sie die Bahn eines von der Versuchsperson getragenen Lichtpunktes schräg von unten auf nimmt. Die seitlichen Schwankungen sind bei schnellem Gehen um mehr als die Hälfte kleiner als bei langsamem.

Die Beschleunigung und Verzögerung der Geschwindigkeit des Gesamtkörpers sind bei schnellem Gang zwar relativ kleiner, aber absolut etwa doppelt so groß wie bei langsamem.

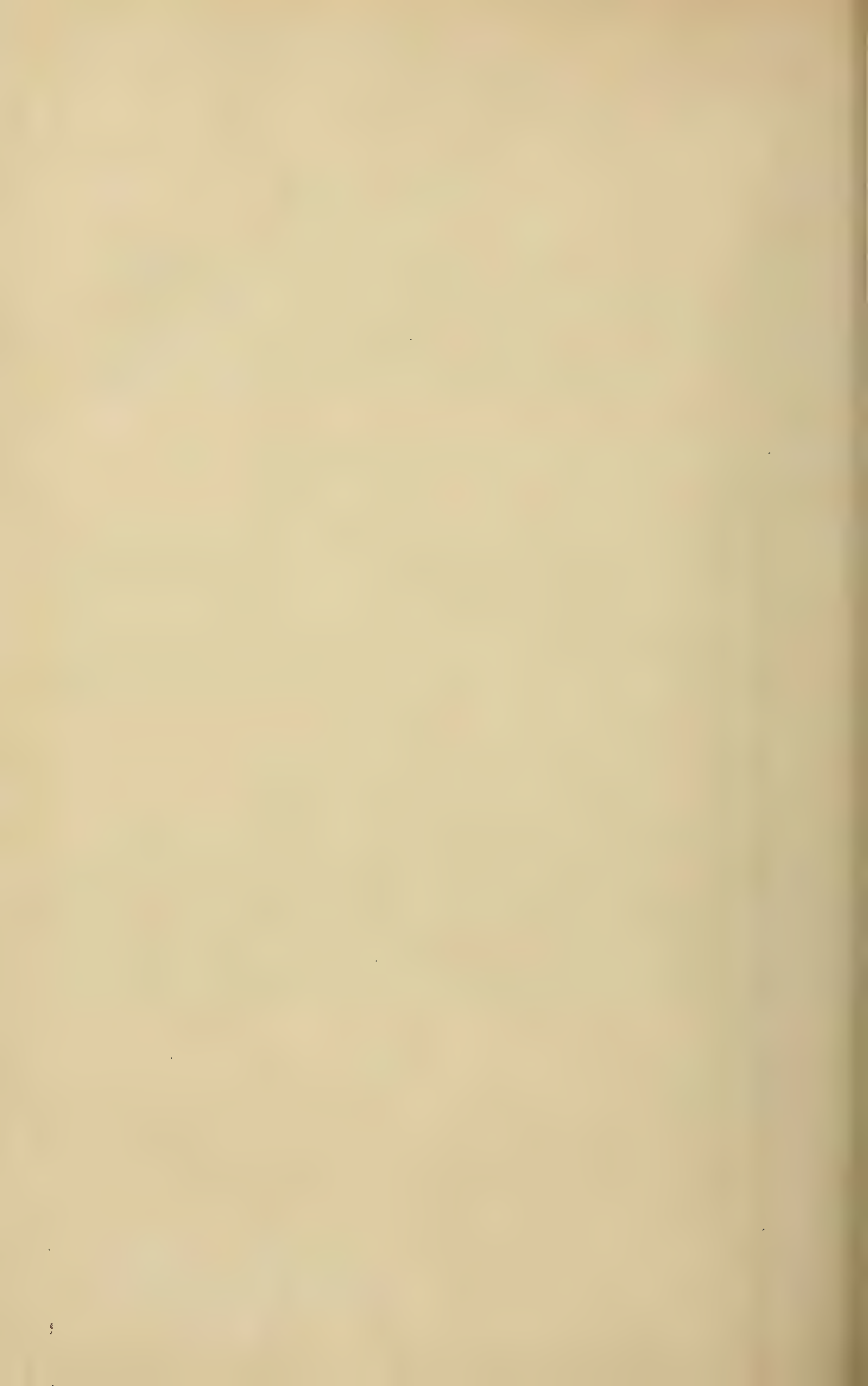
Im ganzen geht aus der Vergleichung hervor, daß der Unterschied zwischen schnellem und langsamem Gang weniger auf der Form der Bewegungen als auf ihrer Geschwindigkeit beruht. Dies lehrt auch schon der Befund der Gebrüder Weber, daß, wenn die Geschwindigkeit des Ganges sich versechsfacht, die Länge der Schritte sich nur verdoppelt, während die Dauer der Schritte auf ein Drittel verkürzt wird.


V
B
2)
V
B
V





Verlag von VEIT & COMP. in Leipzig.



Das

ARCHIV

für

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE,

Fortsetzung des von **Reil**, **Reil** und **Autenrieth**, **J. F. Meckel**, **Joh. Müller**, **Reichert** und **du Bois-Reymond** herausgegebenen Archives,

erscheint jährlich in 12 Heften (bezw. in Doppelheften) mit Figuren im Text und zahlreichen Tafeln.

6 Hefte entfallen auf die anatomische Abteilung und 6 auf die physiologische Abteilung.

Der Preis des Jahrganges beträgt 54 ℳ. Gesamtteuerungszuschlag bis auf weiteres 25 %.

Auf die anatomische Abteilung (Archiv für Anatomie, herausgegeben von Dr. Wilhelm v. Waldeyer-Hartz, Dr. Hans Virchow und Dr. Paul Röthig in Berlin) sowie auf die physiologische Abteilung (Archiv für Physiologie, herausgegeben von Dr. Max Rubner) kann besonders abonniert werden, und es beträgt bei Einzelbezug der Preis der anatomischen Abteilung 40 ℳ, der Preis der physiologischen Abteilung 26 ℳ.

Bestellungen auf das vollständige Archiv, wie auf die einzelnen Abteilungen nehmen alle Buchhandlungen des In- und Auslandes entgegen.

Die Verlagsbuchhandlung:

Veit & Comp. in Leipzig.

Metzger & Wittig, Leipzig.

ARCHIV
FÜR
ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN
VON
DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,
PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN
UND
DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1917.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT DREI FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1918



Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *dreißig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 ℳ Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge für die anatomische Abteilung sind an

Professor Dr. **Wilhelm v. Waldeyer-Hartz** oder an Professor Dr. **H. Virchow** oder an Dr. **P. Röthig**, sämtlich in Berlin N.W., Luisenstr. 56,

Beiträge für die physiologische Abteilung an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden. — Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom Manuskript getrennten Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, unter Berücksichtigung der Formatverhältnisse des Archives, eine Zusammenstellung, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizulegen.

Untersuchungen über Vollkornbrote.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

Übersicht.

Einleitung: Entwicklung der Vollkornfrage. — Vitamin- und Aschegehalt als Motive für Vollkornbrot. — Verteilung der Kleie bei der Ausmahlung.

Neue Untersuchungen: Kriegsbrot. — Abfallprodukte verschiedener Ausmahlung. — Roggenbrote hoher Ausmahlung. — Klopferbrot. — Hindhedes Untersuchungen über Klopferbrot und Kleie. — Das Finklerbrot.

Schlußergebnisse: Allgemeine Beurteilung der Vollkornfrage. — Die Vitaminlehre. — Einheitsbrot und Differenzierung der Backware. — Beziehungen zwischen Zellmembrangehalt und Verdaulichkeit. — Die einzelnen Faktoren der Kotbildung. — Der physiologische Nutzeffekt. — Vergleich mit den Untersuchungen von Plagge und Lebbin. — Roggen und Weizen. — Ergebnisse der Ascheausscheidung.

Einleitung.

Die Zerealien nehmen unter den Nahrungsmitteln der großen Kulturvölker eine wichtige, manchmal quantitativ die wichtigste Stelle ein. Auf dem europäischen Kontinent, weiterhin in Amerika und Australien sind Weizen und Roggen die Hauptvertreter der Zerealien, neben ihnen greifen die Gerste, der Hafer, Reis und Mais ergänzend ein. In Deutschland kann man für die Volksernährung annehmen, daß fast vier Zehntel des Nahrungsbedarfs der Friedenszeit durch Zerealien gedeckt werden. Der Verbrauch betrug pro Kopf und Tag etwa 382 g Korn für Brot und 62 g Korn für Mehl und die daraus hergestellten Speisen. Dabei war das Verhältnis des Weizens zum Verbrauch an Roggen etwa wie 100 : 125. Die einheimischen Produkte liefern aber ein Verhältnis von Weizen zu Roggen etwa wie 1 : 2.[1] In anderen Ländern tritt der Roggen ganz

[1] Rubner, *Deutsche med. Wochenschr.* 1915. S. 21.

zurück. Wo wahlweise die Verwendung möglich ist, wird der Weizen wegen mancher günstiger Eigenschaften dem Roggen vorgezogen.

In der Friedenszeit findet durch die Müllerei eine Differenzierung der Mehlprodukte statt. Nur in ganz beschränktem Maße unterbleibt diese für das Brotgetreide, wie in manchen ländlichen Bezirken, wo aus alter Gewohnheit an der totalen Zermahlung des Kornes festgehalten wird. Im übrigen tritt die Scheidung von Mehl und Kleie ein oder es werden geschälte Produkte hergestellt, wie Gerstengraupen. Das feinste Mehl (Weizen) wird zu Kuchen und feinen Mehlspeisen und feinsten Gebäcken, die darauf folgenden Ausmahlungen zu Brot, das spätere zu Braunmehl usw. verarbeitet. Die Kleie dient zur Viehfütterung. Diese Grundzüge des Gebrauchs des Mehles sind so ziemlich in allen Kulturstaaten mit Weizen- und Roggenverbrauch dieselben. Das feinste Mehl erhält in den Mehlspeisen Zutaten von Milch, Butter und Eiern und die feinsten Backwaren eine Beimischung von Milch. Der weitgehenden Differenzierung wird nur das Weizenkorn unterworfen, nicht aber das Roggenkorn. In der allgemeinen Entwicklung der Volksernährung gewinnt der Weizen allmählich das Übergewicht und das Weizenkleinbrot das Übergewicht über das Roggenschwarzbrot und das Großbrot.

Die Umwertungen in der Vermahlung des Getreides fallen bei uns in die Zeit der allgemeinen Besserung der Gesundheit, und vergleichende physiologische Tatsachen, welche irgendwie einen allgemeinen nachteiligen Einfluß der geänderten Ernährungsweise erkennen ließen, haben wir trotz der vielen Behauptungen über die Abnahme der Leistungsfähigkeit der „Kulturmenschen“ nicht zu verzeichnen.

Die Gründe für den zunehmenden Weizenkonsum und das Kleingebäck lagen bei uns zum Teil begründet in dem sich hebenden Wohlstand, in der Zunahme der Stadtbevölkerung, der Aufsaugung der kleinen Mühlen durch die Großindustrie, in der Ausbreitung des Bäckereigewerbes, andererseits aber auch in manchen fühlbaren Annehmlichkeiten der besseren Gebäcke und dem Drang nach kulturellem Fortschritt, der auch in der Entwicklung einer besseren kulinarischen Erziehung seinen Ausdruck findet.

Neben dieser allgemeinen Entwicklung im Gebrauch der Zerealien sind Bemühungen hervorgetreten, die, wie man sagt, der Verfeinerung des Lebensgenusses entgegentreten oder, wie in Notständen, eine vermehrte Ausmahlung erzielen wollen. Derartige Bestrebungen gehen viele Jahrzehnte zurück. Rein empirisch war man auf die Ausscheidung der Kleie, als einem Verbesserungsprozeß des Mehles, gekommen, Jahrhunderte hindurch hat man auch auf dem Wege der Gesetzgebung auf einen in dieser Hinsicht zeitgemäßen Betrieb der Mühlen gedrungen. Erst Mitte des

vorigen Jahrhunderts haben Millon und Mèges-Mourriès wieder das Hinzubacken der Kleie zu Brot geradezu empfohlen, um die Brotmenge zu vermehren, ohne aber irgendeinen praktischen Erfolg mit diesem Vorschlag erzielt zu haben. Zur Zeit der Not in Ostpreußen hat Liebig 1868 die Kleie gleichfalls als Zusatz, d. h. Vollkornmehl, empfohlen, und zwar als ungegorenes Schrotbrot aus Mehl von 95 Prozent Ausmahlung. Seine Argumente waren einmal volkswirtschaftliche, dann aber glaubte er, solches Brot sei außerordentlich gut verdaulich; von dem groben Aussehen, welches das Brot habe, wisse der Magen nichts und seine unschätzbare Wirkung auf die Leute mit träger Verdauung sei den Ärzten wohlbekannt. Er führte auch die Erfahrung aus dem Krimkriege an, daß nämlich die russischen Soldaten bei der nämlichen Brotkost wie die französischen Soldaten (d. h. bei kleiearmem Brot) nicht ausreichten, d. h. Hunger hatten, so daß man genötigt war, zum französischen Weißbrot ein Supplement zu bewilligen. Liebig war auch der Meinung, daß Brot durch die Beseitigung der Kleie „unverdaulicher" würde, weil die Nährsalze der Kleie verloren gingen.

Mit dem Verschwinden der Hungersnot und dem Brotmangel war auch im öffentlichen Leben das Interesse einer Brotreform zu Grabe getragen worden, wenigstens bei uns in Deutschland. Anders in England. Hier hatte die reiche Fleischnahrung, zusammen mit dem Weißbrotgenuß und dem Vermeiden von Gemüsen, eine Kostform geschaffen, welche mancherlei hygienische oder auch krankhafte Störungen in den besser situierten Kreisen zeitigte. Das Grahambrot und die Agitation zum Zwecke der Rückkehr zu einem kleiehaltigen Brot verbreitete sich. Doch ist es trotzdem zu einer allgemeinen Einbürgerung dieser Bewegung, die zum Teil durch die „Whole meal reform league" geführt wurde, nicht gekommen. Die Empfehlung der Whole meal geschah auf Grund empirischer Beobachtungen.

Schon 1878 hatte ich zeigen können, daß die Liebigsche Behauptung, Brot aus feinem Mehl würde wegen seines geringen Salzgehaltes nur schlecht verdaut, nicht richtig sei, daß vielmehr gerade das kleiereiche Schwarzbrot große Verluste bei der Verdauung erfahre. Im Jahre 1882 habe ich dann auf Betreiben der englischen „Bread reform League"[1] die ersten eingehenden Versuche über den Einfluß der Ausmahlung des Weizens auf die Verdaulichkeit beim Menschen durchgeführt. Das Wort „Vollkornbrot" war damals noch nicht so zum Schlagwort geworden wie heute, die englischen Bestrebungen waren aber tatsächlich nichts anderes als eine Vollkornbrotagitation.

[1] Vgl. *Zeitschr. f. Biol.* 1883.

Ich habe damals für dieses aus dekortiziertem Weizen hergestellte Brot folgende Tatsachen festgestellt:

1. Es besteht ein Zusammenhang zwischen schlechter Ausnutzung und der Zunahme der Kleie im Brot.

2. Die kleiehaltigen Mehle enthalten zwar mehr N als die kleieärmeren, die Verdaulichkeit der N-haltigen Bestandteile nimmt aber mit der stärkeren Ausmahlung relativ ab.

3. Die Kleberzellen enthalten zwar Eiweiß, dieses wird aber nur verdaut, wenn die Zellen zerstört sind, weil deren unversehrten Wände für Fermente nicht zugänglich sind.

4. Von der Kleie, die nach einer 70prozentigen Ausmahlung bis zur Gewinnung von Vollkornbrot obiger Art erhalten wird, sind allerdings unter erheblichem Verlust Nährstoffe verdaulich.

5. Eine die übrigen Nährstoffe schädigende Einwirkung hinsichtlich der Resorption hat diese Kleie nicht.

6. Die Kleieverwertung ist nach landwirtschaftlicher Erfahrung bei den Nutztieren sehr günstig. Daher ist die Verwertung der Kleie vom volkswirtschaftlichen Standpunkt je nach den Kleiepreisen bald mehr oder weniger vorteilhaft.

In Ergänzung dieser Versuche habe ich einige Jahre später solche an einem Brot ausführen lassen, das wirklich aus ganzem Roggen hergestellt war, und damit ein Brot verglichen, das zwar aus Mehl von gleichem, aber vorher dekortiziertem Getreide hergestellt war. Zwischen beiden Brotarten war ein wesentlicher Unterschied in der Verdaulichkeit, das Beibacken aller Kleie eines nicht weiter gereinigten Getreides hatte die Folge, daß auch die sonst verdaulichen Bestandteile mit in die schlechte Ausnützung hineingerissen wurden.[1]

Vom Standpunkt einer sparsamen Wirtschaft ist es also möglich, durch Steigerung des Ausmahlungsverhältnisses mehr verdauliche Nährwerte zu gewinnen, jedoch zeigte eine eigentliche Vollvermahlung erhebliche Minderung des Gesamtnährwertes. Verschwendungen dieser Art bedingt auch der Genuß manches Landbrotes, des Pumpernickels usw.

Der Gedanke, die Ausmahlung zu vermehren unter Gewinnung eines gut verdaulichen Brotes, hat eine ganze Reihe von Erfindern nicht ruhen lassen; zweifellos hat man, veranlaßt durch meinen Hinweis auf die Unverdaulichkeit des in Zellen eingeschlossenen Klebereiweißes, sich bemüht, auch feinere Vermahlungen herzustellen, was gewiß nur von Vorteil war. Zwar wurde von verschiedenen Erfindern behauptet, sie hätten das

[1] Vgl. Wicke, *Arch. f. Hyg.* 1890. Bd. XI. S. 335.

Problem einer nutzbringenden Ausmahlung gelöst, man kann aber, ohne deshalb das Streben dieser Art als nutzlos hinzustellen, sagen, daß die Nachprüfung auf experimentellem Wege ein solches Ergebnis nicht anzuerkennen vermocht hat. Dabei wurden teils feuchte, teils trockene Mahlverfahren angewandt. Untersuchungen von C. B. Lehmann, Praussnitz, Plagge und Lebbin u. a. haben wichtige Grundlagen zur Beurteilung solcher neuen Mahlverfahren gegeben.

Natürlich hat jedes neu erfundene Brot einige Zeitlang aus der Reihe der Überängstlichen, stets nur auf ihre Gesundheit Bedachten, Liebhaber gefunden, die vorübergehend der neuen Mode sich zuwandten. In den allgemeinen Volksgewohnheiten hat sich keine Änderung vollzogen.

Die Militärverwaltung ist auf Grund der Versuche von Plagge und Lebbin zu einer 75prozentigen Ausmahlung übergegangen. Die ärztlichen Kreise haben von den Vollkornbroten in diätetischer Hinsicht Gebrauch gemacht in jenen vielen Fällen, wo eine angebliche Obstipation nur in der mangelnden Kotbildung durch vollkommene Resorption der gewählten Nahrungsmittel besteht.

Eine Laiengemeinde, welche das Vollkornbrot als wesentliches Mittel der Gesundung ansah, hatte sich auch allmählich eingebürgert; sie war teils aus dem Vegetariertum herausgewachsen, teils entstammte sie den Anhängern des Naturheilverfahrens, teils beruht sie auf den schon erwähnten, wirklich gesundheitlichen Bedürfnissen bei Personen mit zu einseitiger Kost.

Das Vollkornbrot ist jetzt nicht mehr ein Nahrungsmittel geworden, um dessen Verdaulichkeitsgrad man debattiert, im Gegenteil, man fußt wieder auf der elementaren Vorstellung, daß die Zusammensetzung eines Nahrungsmittels an sich seinen Wert bedingt, das Vollkornbrot wurde wieder als Quelle reichlicher Eiweißzufuhr und reichlicher Nährasche, die Kleie als notwendiger Darmballast betrachtet, wie als Nährmittel zur Hebung der „Volkskraft“ und gesunden Lebens überhaupt. Eine Fülle von Beispielen über plötzliche Gesundungen als Folge des Verzehrens von Vollkornbrot sind berichtet worden. Zur Begründung dieser Seite des Problems hat man einen Weg eingeschlagen, welcher den Kreis des wissenschaftlichen Erfassens überschreitet. Die praktische Erfahrung des einzelnen über die Mehrung der Gesundheit nach Genuß von Vollkornbrot soll beweisen, daß nur dieses zur Volksernährung verwendet werden solle. Da Artikel dieses Inhalts auch in medizinische Zeitschriften übergegangen sind und ihre Angaben als wichtiges Material in die Literatur eingeführt werden, muß über diese Art der Beweisführung ein warnendes Wort gesagt werden. Sie fußt auf dem Prinzip des posthocpropterhoc-

Verfahrens, das, wie die Geschichte der Medizin lehrt, gelegentlich nützlich war, noch öfter aber viel Unfug angerichtet hat. Es gibt fast kein Nahrungsmittel, das man nicht zeitweilig und oft durch Jahrhunderte mit einer ganz besonderen Wirkung belegt und ausgestattet hätte. Gläubig schworen Volk und Ärzte auf die Wirkung von Dingen, die heutzutage als völlig wirkungslos erkannt sind. Von zahllosen Beispielen sei nur an folgendes erinnert. Die Hülsenfrüchte haben den Ruf genossen, die Tobsucht mit Erfolg zu heilen, die Gurken hat man als Mittel von hartnäckigem Aussatz zu heilen angewandt, auch mit „herrlichem Erfolg" bei Blutsturz und Phthise, der Rettich war ein anerkanntes Mittel gegen Wassersucht, Steinbeschwerden und Bandwürmer, die Gartenkresse ein Mittel gegen Furunkel. Die Äpfel heilten Melancholie, Ohnmachten und Herzklopfen, Spargel diente zur Behandlung verschiedener Erkrankungen der Harnorgane usw.

Was man also in manchen Kreisen dem Vollkornbrot zuschreibt, gehört auch in die Kategorie dieser Beobachtungen, die ich eben durch ein paar kurz herausgegriffene Beispiele aus der älteren Ernährungswissenschaft geschildert habe. Mit Argumenten und Beweisführungen dieser Art kann sich die Wissenschaft nicht weiter beschäftigen, sie muß versuchen, ihren Weg zu gehen, den das Experiment weist.

Will man die Vollkornbrotfrage nicht im engen Rahmen der Verdaulichkeit wie bisher, sondern auf breiterer Basis vom allgemein gesundheitlichen Standpunkt betrachten, so sind eine Reihe von Vorgängen zu beachten. Es gehört dann hierher die Erörterung der Ertragbarkeit, worunter man die Erscheinungen und Gefühle und Empfindungen versteht, die sich schon beim Genuß des Brotes selbst geltend machen; Geruch, Geschmack, Haltbarkeit des Brotes gehören hierher, ferner die Kauarbeit, die Vorteile der Differenzierung der Gebäcke gegenüber dem Einheitsbrot. Die Volksmasse entscheidet darüber. Wie erwähnt, hat praktisch die Differenzierung des Brotes und Gebäckes ganz und gar die Oberhand behalten.

Mit der Aufnahme in den Magen tritt die so oft gehörte Frage der Sättigung, der man freilich heute eine ganz irrige Bedeutung zuschreibt, in die Erscheinung. Aus meinen Erfahrungen mag darauf hingewiesen werden, daß gerade solche Brote, die Sättigung und das Gefühl der Fülle erzeugen, Surrogatbrote waren, die bei reichlichem Genuß direkt Magenstörungen verursachten. Im Darm drückt sich der Grad der Bekömmlichkeit in den Gefühlen aus, welche durch die Gasbildung hervorgerufen werden. Es bedarf für uns heute keiner besonderen Messung, um zu wissen, daß alle kleiehaltigen Brote reichlich, oft schwer belästigende Gas-

bildung hervorrufen. Im weiteren sind Unterschiede in der Füllung des Dickdarmes und des Rektums und S. romanums gegeben. Man hat das die Ballastbildung genannt, über diese habe ich an der Hand der Versuche über aufgeschlossenes Stroh schon das Nähere gesagt.[1] Ballastbildung bedingt schon bei mäßigen Mengen von Brot eine zweimalige Kotentleerung am Tage. Die Rückwirkung des Ballastes auf die Erweiterung des Darmes hat vor kurzem v. Hansemann beschrieben. Starke Ballastbildung greift auch schon auf die Ausnützung über. Die Ausnützung ist für sich ein Objekt, das experimentell zu fassen ist. Ihre Resultate klären über die Vorgänge der Resorption auf und über die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Darmes als individuelle Faktoren, über die chemische Beschaffenheit des Stuhles und seine Rückwirkung auf den Darm.

Ein Nahrungsmittel kann bezüglich der Qualität der Nährstoffe eine besondere Beurteilung erfahren. Hierher gehört die Beurteilung der Art der Eiweißstoffe, d. h. der biologischen Wertigkeit, die Beziehung zur Nährstoffbildung und Wachstum.

Vielfach wird in neuerer Zeit auf die Ascheverhältnisse im allgemeinen Rücksicht genommen, ohne daß man immer die kritische Sichtung gehörig berücksichtigt.

Es wird behauptet, daß das Vollkornbrot alle „Salze“ des Getreides dem Körper zuführe und deshalb besser sei als Getreide geringerer Ausmahlung. Auch für andere Nahrungsmittel stellt man ähnliche Betrachtungen an, indem man, losgelöst von der praktischen Ernährung, den Aschereichtum oder die Aschearmut und die Qualität der Asche erörtert.

Man vergißt dabei zumeist, daß wir zurzeit über die Bedürfnisse des Menschen hinsichtlich der Größe der Zufuhr einzelner Salze gar keine sichere Angabe machen können, da nur für einzelne Aschebestandteile ungefähr der Minimalbedarf feststeht, keineswegs für alle; auch weiß man nicht, ob es angezeigt wäre, eine Aschezufuhr auf das „Minimum“ des Bedarfes einzustellen oder um wieviel das Minimalbedürfnis überschritten werden muß. Wahrscheinlich ist das ebensowenig zulässig, wie die Ernährung auf einem Stickstoffminimum.

Ohne Kenntnis des wirklichen Bedürfnisses an bestimmten Salzen wird man doch nicht behaupten wollen, daß alle Salze einer Frucht a priori den Menschen erforderlich wären, sie sind wohl den Pflanzen für ihre bestimmten Zwecke und Lebensvorgänge unerläßlich, werden aber in dieser Menge und Art für das Wachstum oder den Erhaltungsstoffwechsel des Menschen weder erforderlich noch auch zweckdienlich sein.

Vielleicht ist auch zu wenig bekannt, daß gerade die pflanzlichen

[1] *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlg. S. 86 und 1916. S. 44.

Nahrungsmittel außerordentlich großen Schwankungen auch in ihrem Salzgehalt unterliegen; das Weizenkorn kann im Aschegehalt zwischen 0·51 bis 3·25 Prozent, d. h. um mehr als 600 Prozent, schwanken, der Roggen von 0·51 bis 4·18 Prozent, also um mehr als 800 Prozent. Dies läßt schon vermuten, daß ein gleichmäßiger Aschegehalt also nicht zu den biologischen Voraussetzungen des Wachstums und Gedeihens gehört.

Man muß sich auch klar machen, ob das Brot an sich nach seinem Aschegehalt die Aschezufuhr maßgebend beeinflußt. Wenn man für den mittleren Verbrauch an Nahrungsmitteln, wie es bei freier Wahl vor dem Kriege in der deutschen Nation bestand, die Salze (ausschließlich Kochsalz als Würzmittel) berechnet, so schätze ich diesen Verbrauch auf 14·30 g pro Kopf und Tag, wozu noch in Wasser und Getränken 1·30 g hinzukommen mögen = 15·60 g im ganzen.[1]

Selbst wenn man das Korn völlig vermahlen würde, wäre der Zuwachs an Salz nur 1·4 g pro Tag, wobei aber unterstellt wird, daß diese Salze wirklich resorbiert werden, was aber nicht der Fall ist. In den Animalien werden etwa 4·07 g, in den Vegetabilien 10·23 g Asche aufgenommen (mit Bier eingerechnet 11·13 g), die Vegetabilien liefern demnach den wesentlichen Aschenanteil der nationalen Konsumwerte, die Animalien dagegen die Hauptmenge des Kalks.[2]

[1] Verbrauch

		Asche	
347 g	Milch	0·67 %	2·32 g
8 g	Käse	2·4	0·19
15 g	Eier	1·12	0·17
435 g	Brot	0·8	3·48
44 g	Mehl	1·2	0·53
351 g	Kartoffel	1·09	3·82
18 g	Butter	0·2	0·04
15 g	Fett	—	—
32 g	Zucker	—	—
161 g	Fleisch	1·12	1·35
	Gemüse	—	2·50
			14·30
	Wasser zum Kochen usw.		0·40
	1/3 l Bier		0·90
		Summe pro Tag:	15·60

Für Vollkorn bei 1·13 Prozent Asche = 4·93 g pro Tag.

[2]

Pro Tag und Kopf	Alkalien	Kalk	Magnesia
In Milchprodukten	0·837 g	0·571 g	0·066 g
Eier	0·068	0·018	0·002
Brot und Mehl	1·280	0·252	0·442
Kartoffel	2·406	0·100	0·188
Fleisch	0·636	0·033	0·043
Gemüse	1·087	0·320	0·175
	6·314	1·194	0·916
Wasser	—	0·400	—
Bier	0·393	0·025	0·055
	6·707	1·619	0·971

Die starke Ausmahlung liefert mit der Kleie zwar mehr Salze in das Brot, jedoch hauptsächlich mehr Magnesia, die ohnedies in der gemischten Kost überreichlich vertreten ist.[1] Trotz der relativ geringen Beteiligung des Gemüses an der täglichen Kost nehmen sie in der Aschezufuhr eine wichtige Stellung ein, viel wichtiger als die Zerealien. Am übersichtlichsten werden diese Beziehungen, wenn man sich gewöhnen wollte, die Asche auf eine Kalorieneinheit zu berechnen, weil man dann sofort den Effekt der Nahrungsmischungen klar übersehen könnte. Eine solche Zusammenstellung, aus der die Rolle der Gemüse klar ersichtlich ist, habe ich schon vor vielen Jahren gegeben.[2] Auf die volle Kost eines Arbeiters berechnet, wird aufgenommen:

Bei ausschließlichem Genuß von	Asche	Kalk	Magnesia
		in Gramm	
Weißbrot	6·9	0·5	0·5
Weißkraut	104·5	9·8	3·6
Spinat	198·6	23·7	12·7
Salat	187·1	27·4	11·6

Man erkennt daraus den starken Einfluß der Gemüse auf die Salzanreicherung, neben der die Unterschiede dieser oder jener Ausmahlungsgrade fast nicht mehr in Betracht kommen. Die Bedeutung der Ausmahlung für die Ascheversorgung wird also vielfach völlig unrichtig und viel zu hoch bemessen.

Wer also die Gesamternährung eines Menschen oder einer Bevölkerung nicht kennt, darf auch nicht behaupten, daß etwa ein weniger aschehaltiges Brot einen Nachteil gebracht hat. Man muß auch wohl beachten, daß Brot im allgemeinen ein aschearmes Nahrungsmittel ist und daß die Unterschiede zwischen dem Aschegehalt eines früheren Durchschnittsbrotes und einem Vollkornbrot überhaupt keine erheblichen sind.

Die Ascheernährung ist übrigens nicht nur als ein Bilanzvorgang zwischen einem einmal gegebenen „Salzbedarf“ der Organismen und der Salzzufuhr im Nahrungsmittel aufzufassen, wie das heute noch ganz allgemein geschieht. Der Vorgang ist verwickelt. Ich habe bewiesen, daß ein erheblicher Teil des Kotes, oft zwei Drittel, als Stoffwechselprodukt aufzufassen ist, wesentlich wohl als Rest der Verdauungssäfte. Dieser

[1]

In 100 Teilen Asche sind	Alkalien	Kalk	Magnesia
		in Gramm	
Bei feinem Mehl	35·18	7·48	7·70
Bei gröberem Mehl	31·96	6·35	11·22
Bei der Kleie	28·47	2·97	16·95

(König, *Die Nahrungsmittel.* Bd. II. S. 830.)

[2] *Hyg. Rundschau.* 1905. S. 8.

Rest ist aber nicht etwa nur organischer Natur, sondern auch anorganischer Herkunft. Es werden an den Darm von den verschiedenen Nahrungsmitteln ganz verschiedene Ansprüche gestellt. Es ist eine Eigenart des Brotes, wie wir noch näher sehen werden, daß die Steigerung des Kleiegehaltes zu gleicher Zeit auch die Mengen dieser Stoffwechselprodukte anregt, also auch die Aschebedürfnisse selbst vermehrt, auch jedenfalls qualitativ ändert, so daß wohl erwogen werden muß, ob nicht die Zufuhr der Aschebestandteile in der Nahrung, z. B. durch diese Nebenwirkung der Kleie, überkompensiert wird. Zurzeit besitzen wir keine Grundlagen zur weiteren Einsicht in diese Verhältnisse, es mag aber auf die Ascheanalysen des Kotes verwiesen sein, welche sich bei Albu und Neuberg[1] zusammengestellt finden. Die Unterschiede zwischen den Ausscheidungen bei Hunger und der Aschezusammensetzung bei gemischter Kost und Milch weisen auf solche Besonderheiten hin, die einem näheren Studium vorbehalten werden müssen.

In einigen Fällen habe ich die dem Stoffwechselanteil zugehörigen Aschebestandteile zu isolieren versucht und beobachtet, daß dieser Ascheanteil von wesentlich anderer Beschaffenheit ist wie der übrige Rest. Näheres kann ich vorläufig nicht angeben.

Die Behauptung, Kleie habe im Brote zu bleiben, weil dadurch mehr Nährsalze gewonnen werden, gründet sich also auf die falsche Voraus setzung, daß die Zusammensetzung eines Nahrungsmittels für die Beurteilung seines Nährwertes maßgebend sei; entscheidend ist stets nur der Resorptionsvorgang, der seinerseits niemals eine bloße Aufsaugung darstellt, vielmehr durch funktionelle Änderungen der Darmtätigkeit kompliziert erscheint.

Im Gegensatz zu dem Gedanken des tunlichsten Aschegewinnes durch geringe Kleieausmahlung oder volle Vermahlung des Kornes wird von anderer Seite auf die Qualität der Asche besonderes Gewicht gelegt und hervorgehoben, daß durch sie geradezu eine unerwünschte Vermehrung der Magnesiasalze eintritt, indem die Kleie besonders reich an diesen Verbindngen ist (vgl. oben S. 253).

Mit der Kriegsernährung haben sich die Verhältnisse der freien Kost des Friedens mit ihrer beliebigen Auswahl der Nahrungsmittel allerdings vollkommen geändert, auch haben sich wirklich recht fühlbare Mängel herausgestellt, seitdem die Rationierung weiter um sich gegriffen hat; es könnte in der Tat auch zweifelhaft erscheinen, ob nicht doch manche Störungen der Gesundheit weniger auf den Mangel an organischen Nährstoffen als vielleicht auf den Mangel an anorganischen Bestandteilen, wobei

---

[1] *Der Mineralstoffwechsel.* S. 46.

man an die Kalkversorgung denken könnte, zurückzuführen sind. Aber auch in dieser Hinsicht sorgt die Selbsthilfe der freien Bevölkerung für die Mängel der ungezähmten Verteilungswirtschaft.

Ich will aber hier nur auf die Verhältnisse der Brotversorgung eingehen.

Mit dem Krieg erfuhr die Brotversorgung eine besondere Bedeutung, mit dem Abschluß der Grenzen waren wir auf die eigene Produktion angewiesen. Der Roggen trat mehr in den Vordergrund, und die verschwenderische Verfütterung des Brotgetreides führte schon nach etwa einem halben Jahre zur Rationierung des Brotes, zum Einheitsbrot überhaupt, zum Einheitsmehl und zur Beschränkung des Mehlverbrauches, zur Ausmahlung auf 80 Prozent und seit mehr als einem Jahre zum sogenannten Vollkornbrot und Vollkornmehl, wenn man von der geringen Menge des noch erbackenen Krankenbrotes absieht.

In den ersten Jahren war das Brot das beliebteste Angriffsobjekt für Streckungen, d. h. für größtenteils Fälschungsmittel. Nicht nur wurden in der Literatur alle in früheren Hungersnöten ausgeführten und empfohlenen Zusätze zum Brot wieder empfohlen, sondern auch neue unverdauliche Objekte hergestellt, fremde Nahrungsmittel verschiedener Herkunft als Brotzusatz geeignet erklärt.

Daneben meldeten sich fast alle seit vielen Jahrzehnten bekannten besonderen Mahlverfahren aufs neue und verlangten schon zur Zeit der Ausmahlung auf 80 Prozent ihre Verwertung für den Staat.

Schließlich gab man dem Drängen der Vertreter des Vollkornbrotes auch nach; wer diesen ausschlaggebenden Einfluß ausgeübt hat, ist nicht bekannt, jedenfalls wurde eines Tages amtlich die volle Ausmahlung des Kornes beschlossen.

Als Argument für die Notwendigkeit, ein Vollkornbrot zu genießen, hat man auch die sogenannte Vitaminlehre herangezogen. Es zeigt sich auch in dieser Hinsicht, daß die popularisierende Richtung der wissenschaftlichen Durcharbeitung einer Frage vorauseilt und sie schließlich in Mißkredit bringt, weil sie die Zusammenhänge der wissenschaftlichen Tatsachen nicht zu erfassen vermag.

Die bisher erhaltenen objektiven Befunde rechtfertigen die Behauptung, daß nur ein Vollkornbrot gesund sei, absolut nicht. Im Gegenteil, man könnte mit demselben Recht behaupten, daß die größten Feinschmecker und Schlemmer auf diesem Gebiete, diejenigen, die wesentlich nur Milchbrötchen genießen, ebenso vor den Folgen des Vitaminmangels geschützt sind wie die Vollkornbrotesser. Man muß nur auf die Tatsachen zurückgehen, wie sie wirklich nachgewiesen worden sind.

F. Hofmeister[1] hat auf die Vitaminfrage mit Bezug auf das Brot hingewiesen. Feines Weizenbrot konnte die Tiere nicht am Leben erhalten, wohl aber Roggen- und Kommißbrot oder Weizenbrot mit 20 bis 25 Prozent Weizenkleie oder das Weizenmilchbrot; auch Zusatz von 10 Prozent Preßhefe erwies sich als lebensrettend für die Mäuse. Sonach liegen ähnliche Verhältnisse wie bei den Versuchen mit poliertem Reis vor, dessen Insuffizienz der Nährwirkung durch Reiskleie, Weizenkleie, Erbsen, Bohnen, Preßhefe usw. beseitigt werden konnte. F. Hofmeister hat selbst darauf hingewiesen, daß bei der Abwechslung, welche die normale Kost bietet, solche Wirkungen, welche aus dem Mangel an akzessorischen Nährstoffen entstehen können, kaum zur Beobachtung kommen dürften. Es fehlt in der Tat jeder Nachweis, daß im Rahmen der normalen durchschnittlichen Ernährung die Gefahr eines solchen Mangels an diesen Stoffen im allgemeinen oder wegen des Genusses von „Weißbrot" entsteht. Selbst wenn man die Ergebnisse an weißen Mäusen unmittelbar und nach jeder Richtung einfach auf den Menschen übertragen wollte, was ganz und gar unzulässig ist, wäre zu beachten, daß der Genuß des feinen Brotes ohne jeden Schaden wäre, da es ja mit Milch gemischt ist. Aber auch sonst blieben da mancherlei andere Einwände, auch wenn man davon absieht, daß die ganze übrige Kost die Möglichkeit bietet, die akzessorischen Nährstoffe zu schaffen.

Der Mangel an akzessorischen Nährstoffen wird vor allem dann leichter eintreten und zur Wahrnehmung kommen, wenn eine einförmige, einseitige Art der Ernährung innegehalten wird.

So könnte also von einem gewissen Abschluß der Brotfrage gesprochen werden, wenn nicht sofort wieder die Zweifel auftauchen müßten, was denn Vollkornbrot eigentlich sei. Es unterliegt für mich gar keinem Zweifel, daß man unter diesem anscheinend sich selbst erläuternden Ausdruck sehr verschiedenartige Dinge zusammenfaßt und in scharfen Gegensatz zu anderen Brotarten zu bringen versucht, wo innerlich solche Unterschiede gar nicht vorliegen. Von Vollkornbrot habe ich sowohl Roggen- wie Weizenbrot vor einiger Zeit näher untersucht[2], aber auch da zeigte sich, daß dem wahren Sinn des Wortes entsprechend keine echten Vollkornbrote vorliegen. Außer dem „amtlichen" Vollkornbrot liegen weitere „Vollkornbrote" vor, von denen behauptet wird, daß sie von außergewöhnlich günstiger Verdauungsfähigkeit seien. Insbesondere hat Hindhede in einer ausführlichen Abhandlung behauptet, daß das Klopfer-

---

[1] *Straßburger med. Zeitung.* 1915. Heft 4.

[2] Vgl. *dies Archiv.* 1916. S. 61 und 165.

Vollkornbrot ein außergewöhnlich gut verdauliches Material sei, und von anderer Seite wird wieder das Finklerbrot als das Brot der Zukunft bezeichnet. Daneben melden sich auch wieder eine Reihe anderer Mahlverfahren „mit verbesserter Methode“. Eine wahre Danaidenarbeit, da für eine erledigte Erfindung sofort wieder mehrere neue auf der Bildfläche erscheinen. Trotzdem will ich versuchen, in nachfolgendem an ein paar Beispielen zu zeigen, wie die Untersuchung derartigen Materials durchzuführen ist und wo der Fehler der bisherigen Untersuchungen und Ergebnisse liegt.

Ehe ich aber an die Versuche selbst herantrete, wird es zweckmäßig sein, über die Vermahlung des Kornes und die Verteilung der Kleie nochmals einige wichtige Tatsachen in Erinnerung zu bringen. Zunächst steht sicher, daß die in der Literatur aufgeführten Beobachtungen von Ärzten und Laien über die günstigen gesundheitlichen Wirkungen und die ganze Individualbeobachtung insofern keinen Wert besitzt, als die Gewährsmänner solcher Behauptungen zumeist gar nicht nachweisen können, daß sie wirklich ein Vollkornbrot genossen haben. Wie schon erwähnt, müßten selbst aus voll vermahlenem Getreide hergestellte Brote schon deshalb ganz verschieden sein, weil das Getreide bald viel, bald wenig Kleie enthält und diese natürlichen Schwankungen außerordentlich große sind.

Der Konsument hat nicht den geringsten Einblick in die Mahlverhältnisse der Mühlen, und die Müller selbst legen auf manche Vorkommnisse, die für die Art der Produkte vom hygienischen Standpunkt wesentlich sind, oft keinen Wert. Die Vermahlung selbst hängt auch vielfach von der kaufmännischen Konjunktur ab, wie auch die Bezeichnungsweise der Mehlsorten.[1]

Vielfach scheint die Meinung verbreitet zu sein, daß nur ein Vollkornbrot die Kleie in ausreichendem Maße enthalte, obschon es Nicht-Vollkornbrote gibt, die mehr Kleie enthalten als das ganze Korn.

Das Mahlgut, welches zur Herstellung von Mehl dient, ist von biologischem und hygienischem Standpunkt oft ein grundverschiedenes Ding. Zunächst kann das Getreide vermahlen werden, wie es von der Tenne kommt, also mit allen Unkrautsamen, giftigen wie ungiftigen, mit Steinchen, Glassplitterchen, Eisenteilen, Bodenschmutz und Mäusekot. K. B. Lehmann hat sich besonders mit den Unreinheiten des Mehles und Brotes verschiedener Herstellung beschäftigt und wichtige Mitteilungen hierüber gemacht, aus denen hier nur das Wesentlichste angeführt werden mag. Besonders übel steht es nach K. B. Lehmann mit den ländlichen

---

[1] Rubner und Thomas, *dies Archiv.* 1916. S. 166.

Schrotbroten; er sagt: „Es geht für mich aus diesen beim Schrotbrot und -mehl erhaltenen Zahlen durchaus hervor, daß in den ländlichen Schrotbrotgegenden die Reinigung des Getreides fast durchweg sehr flüchtig, vielfach, wie es scheint, absichtlich gar nicht vorgenommen wird.“ Besser waren die Verhältnisse bei den untersuchten Proben in den Städten. Dies wird meiner Meinung nach wohl auch mit den Preisen des Brotes in Zusammenhang stehen. Für die städtischen Schrotbrotesser liegt gewöhnlich mehr eine Luxusware vor, die für den kleinen Bedarf wohl auch im Durchschnitt besser zubereitet wird.

Die Verunreinigungen des Schrotbrotes waren vielfach derart, daß Lehmann eine staatliche Aufsicht über das Brot in den schrotbrotessenden Gegenden für zweckmäßig erklärte.[1] In diesen Fällen liegt also allerdings eine Zermahlung des ganzen Kornes vor, aber zugleich eine Mitvermahlung von Unkrautsamen und Unrat.

Auch die Quelle des Getreides spielt für solche Vermahlungsprodukte eine wichtige Rolle. Von ausländischem Getreide hat den schlechtesten Ruf das russische Getreide mit 6 bis 7 Prozent Zutaten für Weizen und Roggen, bis 16 Prozent bei der Gerste.[2] Die Reinigung des Getreides ist daher die erste Anforderung, die man für die Mehlbereitung zu stellen hat. Nach Bienert wird bei Weizen und Roggen etwa 3 bis 4 Prozent solchen Abfalls im Durchschnitt erhalten, wobei die Hälfte bis zu einem Sechstel durch den Trieur ausgelesen (davon sind z. B. bei Weizen 65 Prozent zerbrochene Körner, 5 Prozent Steinchen und Spreu, 30 Prozent fremde Samen), der Rest durch Gebläse und Siebe abgeschieden wird.

In der Kriegszeit ist diese Reinigung vielfach bei uns ganz unterblieben, ja es sind zum Teil auch noch, soweit erhältlich, Unkrautsamen gelegentlich besonders zermahlen und zugesetzt worden. Unter Reinigung des Getreides darf man sich aber nicht eine absolut quantitative Trennung der Körner von den Unkrautsamen u. dgl. Schmutz vorstellen.[3]

Für einheimisches Getreide fand Lehmann in 100 g Körnern in mg:

	Ungereinigt		Gereinigt	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Unkraut und Schmutz im ganzen . .	685	3504	100	35
Davon Schmutz	20	2918	39	152
Ungiftige Unkräuter	401	312	43	170
Giftige Unkräuter	264	274	38	27

[1] Reform auf dem Gebiete der Brotbereitung. *Vierteljahrsschrift f. öffentliche Gesundheitspflege.* 1893. Bd. XXVI.

[2] Maurizio, *Nahrungsmittel aus Getreide.* 1917. I. Bd. S. 129.

[3] Vgl. K. B. Lehmann, *Arch. f. Hyg.* 1908. Bd. XIX.

Der Reinheitsgrad ist also als relatives Maß zu nehmen.

Das Korn selbst besteht aus drei ernährungsphysiologisch und biologisch ungleichwertigen Komponenten, dem Mehlkern, dem Keim und den Hülsen. Erheblichen Schwankungen unterliegt das Vorkommen der Keimlinge. Im Verhältnis zur ganzen Frucht findet sich nach Hay[1]

beim Weizen	2—3 Prozent	Hafer	3—4 Prozent
„ Roggen	2·5—4 „	Maishirs	5—6 „
Gerste	2—3·5 „	Mais	10—14 „

Girard[2] hat das Korn in einer kleinen Laboratoriumsmühle in seine Bestandteile zerlegt und gibt für Weizenmehl:

Mehlkern	Keim	Hülse
85·98 Prozent	1·50 Prozent	12·52 Prozent
84·69 „	1·41 „	13·90 „
83·04 „	1·35 „	15·61 „
84·72 „	1·16 „	14·12 „

Ähnliche Untersuchungen hat Fleurent 1899 gemacht mit ähnlichen Resultaten:

	Minimum	Maximum
Kern	82·48	84·18 Prozent
Keim	1·34	1·57 „
Schale	16·18	14·25 „

Diese Trennungen sind namentlich, was die Hülsen anlangt, jedenfalls mit erheblichen Fehlern, die aber konstant sein mögen, behaftet; jedenfalls sieht man die schwankenden Verhältnisse der drei Komponenten. Die Unterschiede zwischen Mehlkern und Hülse sind auch, wie sich schon aus dem Rohfasergehalt ergibt, recht wechselnd, auch mit der Größe der Körner.

Nach Kick enthält das lufttrockene Weizenkorn 82 Prozent Mehlkörper und 18 Prozent Kleie; in der Mühle wird bei bester Arbeit erhalten 82 Prozent Mehl und 16·4 Prozent Kleie, Fußmehl und Schälstaub 1·5 Prozent Verlust.

Die im ganz vermahlenen Korn befindlichen Teile rühren also aus drei Quellen, die bei den einzelnen Zerealien sehr ungleichen Anteil am ganzen Korn haben und auch bei einzelnen Früchten, wie Roggen und Weizen, je nach den Spezies und der Ernte verschiedene Werte annehmen. Wenn man selbst annehmen wollte, daß Vitamine nicht in dem Mehlkern

[1] Vgl. Maurizio, Bd. I. S. 155.

[2] *Ebenda.* S. 156.

sind, so wüßte man immer noch nicht, wo sie sonst enthalten sind, ob in dem Keimling oder in der Kleberzellenschicht oder in einem anderen Teile der Frucht und Samenschale. Beim Mahlprozeß abfallende Teile heißt man zwar Kleie; diese stellt aber ein Gemenge von den allerverschiedensten Dingen dar, und ebenso das Mehl, wie ich gleich nachweisen werde.

Der Ausdruck Vollkornmehl ist übrigens nicht nur für Mehl in Gebrauch, welches aus dem ganzen Korn hergestellt wurde, sondern für ein Mehl, das in einer ganz anderen Weise gewonnen wird. Ich werde noch experimentell nachweisen, daß das Vollkornbrot, über welches Hindhede und andere und die populäre Literatur so Vortreffliches berichten, überhaupt kein Vollkorngebäck ist. Der Mißbrauch des Wortes Vollkorn liegt weit zurück; er war mir schon bekannt zu der Zeit, als ich meine ersten Untersuchungen an diesen Brotarten machte.

Vollkornmehl, Mehl aus ganzem Korn, wird auch solches Material benannt, welches aus dekortiziertem Getreide hergestellt ist. Ausgehend von der Absicht, daß es wichtig sei, die Kleberschicht im Korn zu erhalten, um den Eiweißgehalt zu erhöhen, und unter der Voraussetzung, daß alle Schichten der Frucht- und Samenschale wertlos seien, das Endosperm und die Kleberschicht das „Nährende“ darstellen, hat man das Getreide geschält. Diese Schälverfahren sind sehr mannigfacher Art, sie entfernen keineswegs nur die Frucht- und Samenschale, sondern auch noch den Keimling und häufig Teile der Kleberschicht und der anhängenden eiweißreichen Schicht des Mehlkernes. Die Annahme einer völligen Nährstofffreiheit der Frucht- und Samenschale ist übrigens keineswegs zutreffend, und mit der Beseitigung der Keimlinge wird, wenigstens für den, der „alle Teile“ des Getreides verzehren möchte, ein wichtiger Teil weggenommen.

Im Gegensatz zu der Vermahlung des „Vollkornes“ — sei es mit oder ohne Frucht- und Samenschale — setzt man gewöhnlich die Produkte der Hochmüllerei, von denen sehr verschiedene in den Handel kommen; die einzelnen Sorten von Mehl dienen verschiedenen Zwecken. Feine Brote entsprechen wohl den Ausmahlungsgrenzen mit 30 Prozent und etwas darüber. Zu Brot findet aber auch Mehl Verwendung, dem die feinen Sorten vorweg entzogen sind. Solche Brotsorten enthalten dann mehr Hülsenbestandteile als selbst das wirkliche Vollkornbrot. In neuerer Zeit sind nochmals systematische Versuche über die Zusammensetzung bei verschiedenen Ausmahlungsgraden gemacht worden.

Aus den Untersuchungen von Kosutany[1] läßt sich eine kombinierte

---

[1] *Chemische Untersuchungen der ungarischen Exportmühlen.* 1912. S. 14.

Tabelle ableiten, welche für die Beurteilung von Mehlen in ihren Schwankungen in der Zusammensetzung von Bedeutung ist[1]:

Bezeichnung	Ausmahlung in Prozenten		Asche			Fett			Rohfasergehalt		
			mind.	höchst.	Mittel	mind.	höchst.	Mittel	mind.	höchst.	Mittel
0	36		0·40	0·50	0·45	0·91	1·22	1·06	0·26	0·58	0·43
1	8·4	51·4	0·44	0·55	0·50	0·99	1·71	1·18	0·26	0·66	0·51
2	7·0		0·51	0·62	0·58	1·12	1·51	1·28	0·21	0·96	0·57
3	2·8	15·8	0·55	0·82	0·69	1·09	2·04	1·45	0·23	0·90	0·63
4	4·0	= 67·2	0·57	0·88	0·78	1·34	2·10	1·63	0·41	0·79	0·71
5	4·8	im	0·72	1·12	0·92	1·55	2·22	1·80	0·38	1·63	0·80
6	4·2	ganzen	0·96	1·35	1·15	1·68	2·51	2·09	0·52	1·34	0·97
7	3·8	6·6	1·10	1·74	1·47	2·13	2·96	2·44	0·72	1·63	1·28
$7^1/_2$	2·8	= 73·8	1·23	2·47	1·82	2·31	3·16	2·76	0·89	2·06	1·64
$7^3/_4$	2·4	= 76·2	1·67	3·92	2·36	2·57	3·52	3·06	1·02	2·84	2·09
8	5	= 81·2	2·80	4·42	3·63	3·63	4·83	4·03	—	—	—
Kleie	17	98	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Verlust	2·0	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Es ist ein Irrtum, anzunehmen, daß die Brote, welche aus Mehl der Hochmüllerei herrühren, alle hülsenarm sein würden. Die Zusammensetzung der Brotmehle hängt überhaupt ziemlich eng von der Preislage der Körner ab, wie ich an anderer Stelle schon auseinandergesetzt habe.[2] Ist das Getreide teuer, so werden auch die späteren Fraktionen der Ausmahlung noch zum Brot verwendet, der Konsument erhält also unter demselben Titel Schwarzbrot je nach den Ernten und Getreidepreisen eine ganz verschiedene Ware. Nur solche Leute, die ausschließlich feinstes Weißbrot genießen, nehmen wenig von den Hülsenteilen auf. Wenn man aber annehmen wollte, die feinsten Mehle der Hochmüllerei seien völlig frei von der Zellmembran der Frucht- und Samenschale, so ist auch das ein Irrtum. Wer in letzteren die Träger der Vitamine sieht, wird zugeben müssen, daß die Hochmüllerei ein wirklich kleiefreies Mehl gar nicht herzustellen vermag.

Inwieweit aber Splitter der einzelnen Zellmembranen sich im Mehl verschiedenen Ausmahlungsgrades verteilen, hat durch mikroskopische Auszählung Girard[3] festgestellt. Er fand in 1 g Weizenmehl folgende Mengen von Kleiebruchstücken:

---

[1] Vgl. auch Maurizio, S. 173 u. 181.

[2] *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlg. S. 166.

[3] *Compt. rend.* 1895. S. 121 u. 858.

Herkunft der Teilchen	Ausmahlungsgrad 40	60	70	75	80 Prozent
Fruchtschale	3000	3700	4700	4900	3900
Samenschale	1000	2700	2700	3200	600
Aus dem Haarschopf	400	400	1000	1800	3600
Summe	4400	6000	8400	9900	8100
Reste der ganzen Kleie	—	1800	1400	1300	6000
Schalen mit Kleberschicht	1400	2600	3100	3800	8100
Keimüberreste	1100	1700	3300	4600	6900
Summe	2500	6100	7800	9700	21600
Im ganzen	6900	12900	16200	19600	29600

Alle Teile des Kornes sind auch im feinsten Mehl vorhanden, wenn auch in kleinen Mengen. Es ist gar nicht berechtigt, das Mehl feiner Ausmahlung als einseitige Entmischung des Kornes aufzufassen; jedenfalls enthält solches Mehl qualitativ alle Bestandteile des Kernes, während das entschälte Korn bei manchem Schälverfahren nur Kleiezellen und Mehlkern enthält, den Keimling und die Frucht- und Samenschalen aber eingebüßt hat. Man könnte sagen, daß manches sogenanntes Vollkornbrot ein viel einseitigeres Mahlprodukt darstellt, wie es das Hochmüllereiverfahren liefert. Sieht man in der Getreidehülse die Träger von Vitaminen, so sind diese zweifellos auch im feinen Mehl vorhanden.

Neue Untersuchungen.

Über Kriegsbrot.

(Sommer 1917.)

Das Brot in der Kriegszeit ist schon seit Frühjahr 1915 nach amtlichen Rezepten hergestellt und das Getreide in anderer Weise wie im Frieden vermahlen worden.

In den ersten Kriegsjahren bis 1917 bestand die Hauptgefahr für dieses Nahrungsmittel darin, daß der Verbrauch an Getreide für die tierische Ernährung niemals wirksam unterbunden war, die Brotration knapp aufrecht erhalten und bei dieser Sachlage fortwährend nach Surrogaten zur Streckung des Brotes gesucht wurde. Die abenteuerlichsten Vorschläge wurden gemacht und auch auf dem Gebiete der Fälschung das Unglaublichste geleistet.

Zu den Vollkornbroten gehört unbedingt das Kriegsbrot des Sommers 1917. Mit der Ausmahlung bis zu 80 Prozent war gebrochen worden, zumal ein Streckungsmittel wie die Kartoffel nicht zur Verfügung stand und auf die Gewinnung anderweitigen Materials, wie z. B. von Mais, nicht

mit genügendem Nachdruck hingewirkt wurde. Ein merkwürdiges Prämiensystem für möglichst weitgehende Ausmahlung brachte es mit sich, daß alles das, was eine reinliche und hygienisch einwandfreie Müllerei aus dem Brote fernhalten sollte, mit verbacken wurde. Vermutlich war auch der Roggen selbst nicht selten von schlechter, mitunter verdorbener Beschaffenheit. Einer Zurückweisung schlechten Mehles von seiten der Stadtverwaltungen wurde keine Folge gegeben, vielmehr verlangt, das beanstandete Mehl mit anderem, besserem zu mischen. Es konnte daher auch nicht wundernehmen, wenn das Brot von schlechtem Geschmack und Geruch war, auch durch die Backweise nicht befriedigte. Inwieweit sonst unerlaubte Zusätze etwa von Unkrautsamen in größerem Umfang vorkamen, ist nicht oder nur ausnahmsweise in die Öffentlichkeit gedrungen.

Wenn man bedenkt, wie lange unser Volk gezwungen ist, das Einheitsbrot zu essen und wie häufig eine berechtigte Kritik daran geübt worden ist, muß es wundernehmen, wie spärlich die Versuche über die näheren physiologischen Eigenschaften dieser Brote sind, nur R. O. Neumann hat eine Reihe von Brottypen untersucht.[1]

Die Herstellung der Kriegsbrote war keineswegs immer gleich. Von der Erfahrung, besonders des Jahres 1917, wird man sagen können, daß die Brotbereitung in weitestem Umfange im Volke eine Ablehnung erfahren hat. Ob die Brotbeschaffenheit etwa mit den damals weitverbreiteten Verdauungsstörungen im Zusammenhang stand, kann hier nicht weiter untersucht werden.

Es schien mir (Sommer 1917) wünschenswert, die Verdaulichkeit des Kriegsbrotes im Zusammenhalt mit den anderweitigen Untersuchungen, die von mir ausgeführt worden sind, eingehender zu prüfen, namentlich nach den Richtungen hin, die von anderer Seite keine Bearbeitung gefunden hatten. Die Minderwertigkeit eines wie oben angegeben hergestellten Brotes gegenüber einem Brot von 80prozentigem Mehl ist für den Unterrichteten selbstverständlich; unverständlich bleibt, daß die Behörden mit Begründungen für die Zweckmäßigkeit eines solchen Brotes an die Öffentlichkeit treten, für welche alle Unterlagen fehlen.

Zur Ausführung des Versuches wurde das Brot von verschiedenen Bäckereien im Norden Berlins eingekauft. Zum Versuche dienten zwei Personen mit gesunden Verdauungsorganen, denen freigestellt worden war, so viel zu essen, als zur Befriedigung ihres Nahrungsbedürfnisses diente. An einigen Tagen konnte etwas Butter, im übrigen etwas Zucker als Zugabe verabreicht werden. Die nachstehenden Tabellen geben die näheren Einzelheiten an.

---

[1] *Vierteljahrsschrift f. gerichtl. Medizin.* Dritte Folge. Bd. LI. Heft 2.

Roolfs.

Versuch mit Bäckerbrot. Getränk 2 l Kaffee aus 30 g Malz täglich.

Datum	Gewicht in kg	Nahrung	Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Urin ccm	N in g
27. VIII.		Gemischte Kost	—	—	—	2860	9·4
28. VIII.	56·5	Brot 1135 g, Butter 30 g, Zucker 50 g.	—	—	—	1760	10·0
29. VIII.	—	Brot 1160 g, Butter 30 g, Zucker 50 g	11^{00} V.	247	55	1720	7·9
30. VIII.	56·75	Brot 1097 g, Butter 30 g, Zucker 50 g	7^{30} V.	531	113	1500	—
31. VIII.	—	Brot 1085 g, Zucker 75 g	8^{00} V.	375	83	1110	8·9
1. IX.	56·5	Brot 1105 g, Zucker 75 g	6^{45} V.	613	113	1570	10·2
2. IX.	—	Brot 1148 g, Zucker 75 g	7^{00} V.	245	55	1540	8·9
3. IX.	—	Gemischte Kost	7^{00} V.	510	110	2000	9·4

frisch 2501 = 529 lufttrocken

Brot pro Tag 1116·6 g = 727·1 g Trockensubstanz.

Kurgas.

Versuch mit Bäckerbrot. Getränk 2 l Kaffee aus 30 g Malz täglich.

Datum	Gewicht in kg	Nahrung	Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Urin ccm	N in g
27. VIII.	—	Gemischte Kost	—	—	—	2060	5·4
28. VIII.	55·5	Brot 940 g, Butter 30 g, Zucker 50 g	—	—	—	1670	7·3
29. VIII.	—	Brot 1063 g, Zucker 30 g	9^{30} V.	245	55	1710	6·3
30. VIII.	55·5	Brot 1087 g, Butter 20 g, Zucker 30 g	8^{00} V.	320	98	1580	6·3
31. VIII.	—	Brot 1030 g, Butter 30 g, Zucker 30 g	8^{00} V.	380	80	1840	7·6
1. IX.	—	Brot 1255 g, Butter 30 g, Zucker 30 g	8^{00} V.	340	70	1620	6·3
2. IX.	—	Brot 1025 g, Butter 30 g, Zucker 30 g	8^{00} V.	200	45	1450	9·5
3. IX.	55·5	Gemischte Kost	7^{00} V.	360	75	1800	6·0

frisch 1845 = 423 lufttrocken

Brot pro Tag 1066·6 g = 694·6 g Trockensubstanz.

Die Brotmengen sind auf Brot von dem Wassergehalt zu Beginn der Reihe berechnet. Die beiden Soldaten kamen im ganzen auf die nötige Kalorienmenge, zwar nicht mit dem Brot allein, aber mit den Zugaben. Die Analyse des Brotes und des Kotes enthält die nachfolgende Tabelle.

Herbst 1917.

In 100 Teilen Brot		In 694·6 Teilen Kurgas	In 727·1 Teilen Roolfs
Asche	2·59	17·62	18·90
Organisch	97·41	677·00	708·20
N	1·65[1]	11·46	12·00
Gesamtpentosan	10·77	74·80	78·20
Zellmembran	9·74	67·65	70·82
Zellulose	3·02	20·97	21·95
Pentosan der Zellmembran	3·07	21·29	22·32
Restsubstanz d. Zellmembran	3·65	25·39	26·55
Fett	0·60	4·17	4·36
Stärke	69·06[2]	479·68	502·12
Kalorien	422·1	2931·7	3069·0

[1] 10·31 Protein.
[2] Berechnet.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	31·00
Pentosan	31·51
Restsubstanz	37·49

In 100 Teilen Kot	Kurgas	Roolfs	In 70 g Kot Kurgas	In 87·5 g Kot Roolfs
Asche	8·78	9·21	6·15	8·06
Organisch	91·22	90·79	63·85	79·49
N	3·44	4·40	2·41	3·85
Pentosan	21·36	19·29	14·95	16·88
Zellmembran	36·88	38·27	25·82	33·31
Zellulose	13·57	13·36	9·50	11·67
Pentosan der Zellmembran	11·94	13·78	8·36	11·04
Restsubstanz d. Zellmembran	11·37	11·13	7·96	9·74
Fett	5·98	7·27	4·19	6·36
Stärke	8·41	5·15	5·88	4·50
Kalorien	480·1	477·4	336·07	417·71

In 100 Teilen Zellmembran des Kotes

	Roolfs	Kurgas	Mittel
Zellulose	36·79	34·88	35·83
Pentosan	32·37	35·98	34·17
Rest	30·84	29·14	30·00

Nach der Kriegsverordnung war zu erwarten, daß das Brot den Typus eines Vollkornbrotes liefern werde. Dem entspricht auch der hohe Gehalt an Zellmembran, und auffallend hoch ist der Pentosangehalt, der den bei 96 Prozent Ausmahlung in einem anderen Falle erhaltenen Wert (9·77 Prozent) noch übersteigt. Gewisse Schwierigkeiten waren auch bei

der Darstellung der Zellmembranen zu überwinden; zweifellos war ein Teil derselben durch Diastase löslich, nicht die Zellulose und nicht die Pentosane, wohl aber ein Teil der Restsubstanz. Ich mußte daher von der Anwendung der Diastase zur Stärkelösung absehen und habe hierzu nur Chloralhydrat verwendet, ein umständliches und zeitraubendes Verfahren. Ein Grund für dieses Verhalten läßt sich nur schwer angeben, da es bis jetzt an genügender Erfahrung fehlt. Man könnte daran denken, daß etwa ausgekeimtes Getreide mit verwendet worden ist. Durch das Auswachsen kommt ein Stoffverlust zustande, der bei mäßigem Auswachsen einige Prozente beträgt, aber sich weiter erheblich steigern kann, dadurch werden die Zellmembranen angereichert. Die Umwandlungen sind leider nach der Richtung hin, welche hier interessieren, nicht näher bekannt.

Nach Maurizio gibt es beim Roggen durch Diastase lösliche Pentosane, während die des Weizens nicht verändert werden sollen. Bei der Keimung soll sich besonders neue Diastase bilden, die möglicherweise etwas andere Eigenschaften hat wie die präformierte. Zahlenmäßige Belege für den Umfang, in welchem bei Roggen während der Keimung Pentosane in Lösung gehen, habe ich nicht finden können.

Die von mir dargestellten Zellmembranen gaben bei der Behandlung mit Diastase keine Pentosane in Lösung. Man könnte annehmen, daß bereits eine solche Abtrennung stattgefunden hatte und demgemäß die nochmalige Einwirkung von Diastase ohne Erfolg blieb. Es wäre aber denkbar, daß die Restsubstanz verändert werden kann und ihre Löslichkeit in Diastase erhöht wird. Ich möchte aber damit keine definitive Erklärung geben und weitere Untersuchungsergebnisse abwarten.

Der Umstand eines so außergewöhnlich hohen Zellmembrangehaltes, wie ich ihn sonst auch bei ungereinigtem Roggen nicht beobachtet habe, muß entweder zu dem Schluß führen, daß Roggensorten vorkommen, die außergewöhnlich reich an Zellmembran sind oder daß eben doch eine anderweitige Beimengung zum Brote eingetreten war. Überlegt man sich die Vorgänge der Ernährungsperiode des Frühjahrs und Sommers 1917, so war dies die sogenannte Kohlrübenzeit. Besonders eifrige Vertreter der Kohlrüben konnten sich in der Ausbeutung dieses fraglichen Nahrungsmittels nicht genug tun. Die Kohlrübe war Kartoffelersatz, sie erstand im Trockengemüse und den Marmeladen und wurde außerdem in manchen Gegenden in hohem Prozentsatz dem Brote beigemengt. Aus getrockneten Kohlrüben wurde auch eine Art Mehl hergestellt, das im Verlauf des Jahres 1917 um hohen Preis ausgeboten wurde und als Beimischung zu Brotmehl empfohlen, ja gewissermaßen aufgedrängt wurde.

Betrachtet man die untersuchten Kriegsbrote von diesem Gesichtspunkte als eine Mischung hochgradig ausgemahlenen Roggens mit Zugabe von Kohlrübenmehl, so ist die eigenartige Zusammensetzung gut zu erklären, auch manches Verhalten in diätetischer Hinsicht.

Das Brot hatte im Mittel 65·12 Prozent Trockensubstanz. Die bei einzelnen Bäckern festgestellten Schwankungen des Trockengehaltes waren:

64·29 Prozent	64·70 Prozent
65·78 „	63·33 „
70·00 „	63·63 „

Recht gering war der Proteingehalt für ein Vollkornbrot. Der Kot war stets geformt mit 21·1 Prozent Trockensubstanz bei R. und 22·9 Prozent bei K.

Einen sehr großen Teil des Kotes machten die Zellmembranen aus (36·9 bis 38·2 Prozent); an Pentosanen ist im Kot viel mehr als an Stärke, freilich ist von ersteren ein guter Teil in der Zellmembran noch gebunden.

Als Gesamtresultat des Verlustes bei Ernährung mit Kriegsbrot (1917) wurde erhalten für 100 Teile:

	Person K.	Person R.	Mittel
An N	21·02	32·09	26·55
An Kalorien	11·46	13·61	12·53
Zellmembran	38·16	47·03	42·59
Zellulose	45·32	53·16	49·24
Pentosan der Zellmembran	39·25	49·45	44·35
Restsubstanz der Zellmembran	31·35	36·69	34·02
An Pentosan im ganzen	20·00	20·14	20·07
An freien Pentosanen	12·31	10·45	11·38
An Stärke	1·23	0·89	1·05

Eben erwähnte ich die Unterschiede in der Ausnützung der beiden Personen, in der Zusammenstellung tritt das noch schärfer hervor. K. verdaut die N-haltigen Stoffe weit besser als R., auch die Zellmembran löst sich in seinem Darm viel leichter, und wie wir sehen werden, ergeben sich auch hinsichtlich der Stoffwechselprodukte ähnliche Unterschiede.

Ich betone das insbesonders im Hinweis auf Hindhede, der bei Resultaten, die von denen anderer Autoren abweichen, stets mit der Erklärung zur Hand ist, daß *seine* Ergebnisse genauer und maßgebender seien als die aller übrigen Experimentatoren. Wenn Hindhede da und dort günstigere Resultate erhalten hat, so liegt das ganz an dem Zufall,

der ihm ein paar Menschen in die Hand gespielt hat, welche Zellmembranen gut verdauen, wie oben Person K. Und wenn Hindhede namentlich mit Vorliebe darauf hinweist, daß die „älteren“ Versuche von Plagge und Lebbin so viel schlechtere Ausnützung gezeigt hätten, so hat er offenbar diese Versuche nie genauer durchgesehen, sonst hätte er herausfinden müssen, daß sich bei Plagge und Lebbin sehr große Verschiedenheiten zwischen den Versuchspersonen finden, einerseits Leute mit sehr guter Resorption, andererseits besonders die Person Pl., deren Versuche oft rechnerisch ausschlaggebend sind, die sich aber für die gröbere Pflanzenkost nicht eignete, wahrscheinlich deshalb, weil ihr Darm dafür nicht geeignet war. In gewissem Sinne haben gerade solche Versuche mit Personen von verschiedenem Verdaulichkeitsvermögen besonderen Wert, weil sie bessere Mittelwerte für die praktische Verwertung geben als Zahlen mit nur optimalen Verhältnissen. Natürlich ist es unstatthaft, für bestimmte Fragen bei schwer verdaulichem Material die Ergebnisse beliebiger Personen miteinander zu vergleichen, ohne die Möglichkeiten individueller Unterschiede in Erwägung zu ziehen. Bei leicht resorbierbarem Material treten allerdings diese individuellen Schwankungen ganz zurück.

Mit Rücksicht auf das Gesagte ist folgender Vergleich mit anderen von mir ausgeführten Versuchsreihen an Roggenbrot verschiedener Ausmahlung zu deuten. Ich fand:

	Bei 6·69 Prozent Zellmembrangehalt Prozent	Bei 8·75 Prozent Zellmembrangehalt Prozent	Bei 9·74 Prozent Zellmembrangehalt (Kriegsbrot) Prozent
N-Verlust	40·3	35·1	21·0 bis 32·1
Kalorien	13·5	14·8	11·5 bis 13·6
Zellmembranverlust	55·7	47·0	38·2 bis 47·0

Die eine Person stimmt also im Ergebnis sehr nahe in der Ausnützung mit dem Brot von 96 Prozent Ausmahlung (8·75 Prozent Zellmembranen) überein, die andere aber zeigt wesentlich günstigere Verhältnisse. Man kann also sagen, dieses Kriegsbrot hat sich in seiner Ausnützung jedenfalls nicht wesentlich verschieden verhalten von einem Brot, das aus fast völlig ausgemahlenem Roggen hergestellt worden ist.

Aber es sind doch Unterschiede vorhanden, die nicht übergangen werden können. Bei einem Gehalt von 9·74 Prozent Zellmembran wäre, wenn diese aus Roggen stammten, unbedingt zu erwarten, daß gerade die schwer resorbierbaren Substanzen erheblich zunehmen müßten. Hier ist aber gerade das Gegenteil der Fall, die Resorption der Zellmembran

ist günstiger als erwartet werden sollte. Diese günstige Resorption erstreckt sich auch auf die Zellulose, die bei wirklichem Vollkornbrot stets schwer resorbierbar gefunden wird. Für eine Kombination Roggen und Kohlrüben liegt die Sache anders. Die Kohlrübenzellmembran gehört wie die anderer Wurzelgewächse nach meinen Versuchen zu den leicht resorbierbaren Zellmembranen.

Mit einem hohen Zellmembrangehalt aus „Kleie" hätte auch der N-Verlust zunehmen müssen, was gleichfalls nicht eingetreten ist. Bei relativ zu günstigen Resorption der Zellmembran durch den Kohlrübenanteil nimmt selbstredend auch der Kalorienverlust ab, was bei der erheblichen Menge von Zellmembran überhaupt sehr in die Wagschale fällt.

Eine nähere Betrachtung der Verluste und ihre Zergliederung in Unverdautes und Stoffwechselprodukte gibt noch zu einigen Bemerkungen Anlaß. Bezüglich der N-Ausscheidung enthält die nachfolgende Tabelle die zahlenmäßigen Angaben.

Person	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozentverl. von Protein	Prozent N in Stoffwechselprodukten	Verlust an Stoffwechsel-N zur Zufuhr
R.	12·44	87·5	10·88	1·75	3·85	2·10	12·00	14·6	54·6	17·50
K.	10·76	70·0	7·53	1·20	2·41	1·21	11·46	10·5	50·2	10·56
							Mittel	12·6	52·4	14·03

Person	Verlust an Kalorien in					Kalorien im Kot insgesamt	Kal. im Kot aus Stoffwechselprod.	Verzehrte Kalorien im Tag	Vom Verzehrten entsteh. Stoffw.-Prod.	Von 100 Kal. im Kot tr. auf Stoffw.-Prod.	Vom Verzehrten ist unverdaulich
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Protein	Summe						
R.	18·45	145·6	22·77	63·70	250·5	417·71	167·2	3069	5·44	40·05	8·17
K.	24·10	113·6	25·70	54·27	217·7	336·10	118·4	2932	4·04	35·23	7·42
								Mittel	4·74	37·64	7·79

Von dem ausgeschiedenen N sind 52·4 Prozent in Stoffwechselprodukten vorhanden; sehr günstig ist die Verwertung des Proteins, die, auf 12·6 Prozent berechnet, fast nur halb so hoch ist, als ich sonst bei Roggen der verschiedensten Ausmahlung gefunden hatte.

Auch dieses abnorme Verhalten findet seine Erklärung, wenn ein Kohlrübenzusatz stattgefunden hat, denn die durchschnittliche Resorptionsfähigkeit bei der Kohlrübe ist durch die Bildung von abnorm viel Stoffwechselprodukten herabgedrückt. Es ist aber fraglich, ob bei der Kom-

bination von Nahrungsmitteln und dem Überwiegen von Roggenbrot die Möglichkeit eines Darmreizes, der zur Bildung von Stoffwechselprodukten führt, überhaupt zustande kommt, und möglicherweise verliert die Kohlrübe beim Trocknen etwas von ihren spezifischen Eigenschaften, weil sie sich bei der Trocknung zum Teil zersetzt.

Im Einklang mit dieser Darlegung steht auch das, was die Bestimmung der Stoffwechselprodukte im ganzen (Kalorien) ergeben hat.

Die Stoffwechselprodukte im ganzen (Kalorien) verhalten sich auch günstiger, als man bei reinem Roggenmehl erwarten durfte. Bei Roggenmehl von 80 Prozent und 95 Prozent Ausmahlung hatte ich früher gefunden 7·07 und 7·47 Prozent des Verzehrten an Stoffwechselkalorien, hier nur 4·74 Prozent, und von 100 Kalorien im Kot waren bei 80 Prozent 55·7 und bei 94 Prozent Ausmahlung 50·7 Prozent Stoffwechselprodukte, hier aber nur 37·64 Prozent.

Person K. verdaut das Protein besser, weil sie auch die Zellmembranen besser auflöst; sie bildet auch weniger N als Stoffwechselprodukte, während in der Gesamtmenge der Stoffwechselprodukte ein wesentlicher Unterschied nicht zu finden ist.

Dem ganzen Verhalten nach kann nach dem, was ich gesagt habe, kein reines Vollkornbrot vorgelegen haben, sondern Brot aus Mehl, welches anderweitige Zusätze erhalten hat. Die Ergebnisse sprechen für die Beigabe von Kohlrübenmehl, weil nur so das Mißverhältnis zwischen großen Mengen von Zellmembran und relativ nicht ungünstiger Verdauung derselben zu erklären ist. Auch die mindere Qualität des Gebäckes entspricht einer solchen Beimischung. Ob nicht außerdem auch zum Teil verdorbenes Getreide vorlag, läßt sich analytisch nicht feststellen. Anhaltspunkte für einen überreichlichen Raden- und Wickengehalt haben sich nicht ergeben. Insofern die Bevölkerung mit der Beschaffenheit des Brotes unzufrieden war, können solche Beschwerden jedenfalls nicht ohne weiteres auf weitest ausgemahlenen Roggen an sich geschoben werden.

Die beiden Männer blieben bei der Brotkost mit den näher aufgeführten Zugaben auf ihrem Körpergewicht.

Bei K.[1] war das Gewicht zu Anfang des Versuches . . 55·5 kg
zu Ende des Versuches . . . 55·5 kg
Bei R.[2] war das Gewicht zu Anfang des Versuches . . 56·5 kg
zu Ende des Versuches . . . 56·5 kg

[1] Körpergröße 168 cm.
[2] Körpergröße 172 cm.

Die Summe der verzehrten Kalorien war für K. brutto 3232·9 Kal., im Tag = 2842·9 Reinkalorien.

Die Summe der verzehrten Kalorien war für R. brutto 3436·0 Kal., im Tag = 2953·0 Reinkalorien (Harn- und Kotkalorien abgezogen).

für K. = 53·0 Kal. pro Kilo
für R. = 52·2 Kal. pro Kilo

Die Ernährung vor dem Versuche war die übliche Kriegskost; K. hatte eine sehr niedrige N-Ausscheidung, 5·4, R. 9·4 g N. K. deckte seinen Eiweißbedarf und setzte 1·92 g N pro Tag an. R. reichte nicht ganz aus. Bei dem großen Eiweißmangel, unter dem K. litt, setzte er N an, ohne daß der N-Umsatz an den späteren Tagen in die Höhe ging.

Die N-Bilanz.

Kurgas.

Tag	N aufgenommen	N im Harn	N im Kot	Gesamt-N	Bilanz
1.	10·26	7·30	2·41	9·71	+0·55
2.	11·55	6·30	—	8·71	+2·84
3.	12·55	6·30	—	8·71	+3·84
4.	11·00	7·60	—	10·01	+1·00
5.	13·17	6·30	—	8·71	+4·46
6.	10·76	9·50	—	11·91	−1·15
	Mittel	6·90	—	9·31	+1·92

Roolfs.

Tag	N aufgenommen	N im Harn	N im Kot	Gesamt-N	Bilanz
1.	12·04	10·00	3·85	13·85	−1·81
2.	12·59	7·90	—	11·77	+0·82
3.	12·65	—	—	—	—
4.	11·58	8·90	—	12·35	−0·77
5.	11·55	10·20	—	14·05	−2·50
6.	12·05	8·90	—	12·75	−0·70
	Mittel	9·18	—	12·95	−0·99

Gemischte Kriegskost

Kurgas	Roolfs
vor dem Versuch . . 5·4 g N pro Tag	vor dem Versuch . . 9·4 g N pro Tag
nach dem Versuch . 6·0 g N pro Tag	nach dem Versuch . 9·4 g N pro Tag

Über die einzelnen Produkte bei einer hochgradigen Ausmahlung.

Das eben untersuchte Kriegsbrot war leider kein Vollkornbrot, wie anfänglich vermutet werden konnte, sondern ein Gemisch von Roggen mit anderweitigem Material, wahrscheinlich mit Kohlrüben. Ich hatte deswegen in Aussicht genommen, bei geeigneter Gelegenheit nochmals auf

wirkliches Vollkornbrot zurückzugreifen; hierzu bot sich erst im Frühjahr 1918 eine geeignete Gelegenheit.

Die Wege, auf denen man zu einer hochgradigen Ausmahlung kommen kann, sind sehr verschiedene, und die Produkte, welche man ausscheiden kann, sehr mannigfaltige, und außerdem kann bei der Brotgewinnung ja auch noch die Fälschung und Unterschiebung anderweitiger zu mehlartiger Feinheit zermahlenen Substanzen in Frage kommen.

Zur Beurteilung über den Wert und Unwert verschiedener Vermahlungsweisen ist es notwendig, die einzelnen Produkte bei der Ausmahlung quantitativ festzustellen und der Untersuchung zu unterwerfen. Ich habe schon erwähnt, daß systematische Ausmahlungsversuche bisher nur von Plagge und Lebbin in militärischem Auftrag unternommen worden sind, sie konnten aber mangels geeigneter Methoden der Untersuchung damals nicht so ausgewertet werden, wie es heute möglich wäre.

Die Bearbeitung der berührten Fragen hat nicht für die heutige Kriegswirtschaft allein Bedeutung, sondern für die Frage der Vollkornbrotherstellung überhaupt.

Gewöhnlich wird behauptet, die Ausmahlung des Getreides gehe jetzt bis auf 94 Prozent des Getreidekornes bzw. des geernteten Kornes. Hier stoßen wir schon auf einen Punkt, der bisher in der Literatur aus guten Gründen gar nicht berührt worden ist. Bisher hat man bei Angabe des Ausmahlungsgrades in der wissenschaftlichen Literatur nicht immer auseinander gehalten, ob sich dieser auf reines Getreide, d. h. solches, das von Spelzen, Stroh, Unrat und Unkrautsamen befreit ist, bezieht, oder ob er sich auf gereinigtes Getreide bezieht. Das bedeutet, wie man schon ohne weiteres sagen kann, einen erheblichen Unterschied.

Die Reichsverordnungen, das muß zunächst festgestellt werden, gehen stets von dem Getreide aus, wie es ungereinigt in den Handel kommt. Die Ausmahlung von 94 Prozent bezieht sich also nicht auf eine Beseitigung der Kleie aus dem gereinigten Korn bis zur Höhe dieses Ausmahlungsgrades, sondern auf alle Vorreinigungsprozesse zusammengenommen.

Das abgelieferte Mehl beträgt aber nicht etwa 94 Prozent, sondern, wie von sachverständiger Seite berichtet wird, noch mehr, nämlich 95 bis 97 Prozent. Es ist nach den bekannten Betriebsergebnissen der Müllerei unmöglich, so viel Mehl zu erhalten, wenn nicht unbedingt Bestandteile des Rohgetreides mit vermahlen werden, die vom hygienischen Standpunkt aus von der Vermahlung ausgeschlossen werden müssen. Die Herstellung des Mehles geschieht also in einer Weise, welche sonst zu beanstanden und gerichtlich zu bestrafen wäre. Hierin liegt das schwerwiegende Bedenken gegen dieses Vorgehen überhaupt, denn die Durchbrechung der

Verordnungen und Gesetze, die mit Recht zur Wahrung der Gesundheit erlassen worden sind, untergräbt selbstverständlich das Rechtsbewußtsein und verleitet zu betrügerischen Manipulationen im Müllereigewerbe selbst.

Welche Bestandteile unbedingt aus dem Mehl wegbleiben, ergibt sich zunächst schon aus der Herkunft der Bestandteile. Dem Getreide haftet stets Erde vom Acker oder aus den Lagerstätten oder der Tenne an und das, was bei der Lagerung noch an fremdem Material hinzukommt, Mäusekot, Reste von Ungeziefer aller Art, Puppenhüllen u. dgl., Sand, Eisenteile.

Eine zweite Gruppe betrifft die Beimengung der fremden Gewächse, die sich zwischen dem Getreide finden, Raden, Wicken oder krankes Getreide u. dgl.[1]

Die nähere Bestimmung der Reinigungs- und Ausmahlungsprodukte wurde an Getreide der Ernte 1917/18 vorgenommen, die Vermahlung geschah in einer modernen Mühle unter fachmännischer Aufsicht.

Als Gesamtresultate wurden aus 100 Teilen ungereinigten Kornes etwa 94 Prozent Mehl gewonnen, wie im einzelnen belegt worden ist.

Bei der Vermahlung zu 94 Prozent sind abgefallen (in lufttrockener Substanz):

An Spreu	0·17	Prozent
,, Radenabfällen	0·54	,,
,, Keimen	0·97	,,
,, Putzmaschinenüberschlägen	0·29	,,
,, Schälkleie	2·06	,,
	4·59	Prozent
Mahlverlust war etwa	1·25	,,
Summe	5·84	Prozent

Der Verlust war nur rund 6 Prozent, die Menge des Mehles also 94 Prozent des angewendeten Kornes.

Keime und Putzmaschinenüberschläge sind mir nicht zugestellt worden, doch ist aus anderen, eigenen Untersuchungen die Zusammensetzung von Roggenkeimlingen mir wohl bekannt, so daß man gewissermaßen synthetisch den durchschnittlichen Verlust bei der Reinigung des Kornes aus den Einzelergebnissen der Abfallprodukte ableiten kann.

Wenn, wie oben bemerkt, in dieser Zeit die Müller 96 bis 97 Prozent Mehl abliefern, so werden jetzt noch sogenannte „gute Reinigungsabfälle“ im Mehl belassen. Als solche werden angesehen:

[1] Vgl. Rubner, *Lehrbuch der Hygiene.* S. 578.

1. Die Hälfte der Radenabfälle	. 0·28	Prozent
2. Die Putzmaschinenüberschläge	0·29	,,
3. Die Schälkleie	. 2·61	,,
Zusammen .	. 3·18	Prozent

Das würde dann einer 97prozentigen Ausbeute entsprechen können, d. h. nur die Spreu und der Mahlverlust und etwa die Raden als Abzug zu verzeichnen sein. Die Keimlinge werden nicht ins Mehl gebracht, sondern zur Herstellung von Fett und anderweitigen Nährpräparaten gesammelt.

Die Zusammensetzung des Mehles und der Abgänge sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	94proz. Mehl	Schälkleie	Spreumehl	Roggenkeimling	Trieurmehl
Asche	2·02	5·74	18·54	6·76	6·83
Organisch	97·98	94·26	81·46	93·24	93·17
N	1·69[1]	2·25[2]	2·10[3]	6·57[4]	1·85[5]
Pentosan	11·12	23·24	14·25	7·33	8·94
Zellmembran	5·98	47·94	23·80	7·98	6·60
Zellulose	2·54	11·50	9·58	3·13	2·15
Pentosan der Zellmembran .	2·21	19·60	11·44	2·55	2·15
Restsubstanz	1·23	16·84	11·40	2·31	2·30
Fett	1·91	3·70	2·17	14·44	3·62
Stärke	70·63	24·92	39·52	24·99	64·60
Kalorien	440·8	458·1	380·5	487·8	412·50

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	94proz. Mehl	Schälkleie	Spreumehl	Roggenkeimling	Trieurmehl
Zellulose	42·33	23·98	40·25	39·22	31·51
Pentosan	36·83	40·88	35·27	32·02	32·59
Rest	20·84	35·14	24·27	28·76	35·56

[1] = 10·55 Protein. [2] = 14·06 Protein. [3] = 13·12 Protein. [4] = 41·05 Protein. [5] = 11·56 Protein.

Da der Roggen sonst in Friedenszeiten kaum höher als auf etwa 70 Prozent ausgemahlen wurde, werden hier rund 24 Prozent mehr an Ausmahlung gewonnen. Das Mehl zu 94 Prozent ist nicht gerade N-reich und liefert bei seinem hohen Kleiegehalt nur dunkles Brot. Das unreinste Produkt der Abscheidung ist das Spreumehl; die Bestandteile Strohfaser, Spelzen, etwas Unkraut, zerbrochene Körner, Schmutzbestandteile verschiedener Art, lassen sich leicht erkennen. Der Aschegehalt — darunter viel Sand — ist enorm hoch.

Wenn man die wesentlichsten Bestandteile auf aschefreie Substanz rechnet, so hat man in 100 Teilen:

N	2·58	Prozent
Rohprotein	16·12	,,
Pentosan	17·48	,,
Zellmembran	29·21	,,
Stärke	48·8	,,
Kalorien	466·2	

Wenn man sich zur Nährwertberechnung dieser Ausmahlungsprodukte, wie das heute die Regel ist, des üblichen Analysenschemas bedient, so wird namentlich der Gehalt an N-freien Extrakten ganz erheblich überschätzt; der hohe Proteingehalt kann unter Umständen zum Teil auf N-haltigem Unrat beruhen, besonders bei schlecht gelagertem Korn.

Die Trieurabfälle bestehen aus Wicken, Raden, zerbrochenen Körnern verschiedener Herkunft, enthalten weniger N als die übrigen Produkte, aber nur einen mittleren Gehalt an Zellmembran und wenig Pentosan, deren Hauptmasse nicht in der Zellmembran liegt, an Stärke fast zwei Drittel der Masse; das Mehl ist dunkelgrau.

Das wertvollste Material der Abscheidung sind die Keimlinge. Über den Nährwert für Mensch und Tier ist bereits auf Grund von Versuchen das Nähere angegeben. Technisch sind sie natürlich weder quantitativ aus dem Roggen zu entfernen, noch auch besteht das, was als Keimling gewonnen wird, überhaupt nur aus Keimlingsgeweben. Immerhin ist die Abtrennung der Roggenkeimlinge besser als die des Weizens und Maises; bei dem sonst üblichen Schälverfahren enthält die Schälkleie zugleich auch den Keimling. Insofern also bei der 94prozentigen Ausmahlung des vorliegenden Falles der Keimling noch als Nebenprodukt erhalten wird und dieser anderweitig benutzt werden kann, wäre der gesamte Nährwert also einer 95prozentigen Ausbeute gleichzusetzen. Der Proteingehalt von 41 Prozent und der Fettgehalt von 14·44 Prozent machen das Keimlingsmehl zu einem sehr wichtigen Nahrungsmittel, das freilich bei der unbedeutenden Menge der Abscheidung überhaupt nicht allzusehr ins Gewicht fällt.

Zu den Roggenkeimlingen möchte ich bemerken, daß, wie erwähnt, selbstverständlich nicht alle Keimlinge bei den angewandten Methoden der Vermahlung gewonnen werden und daß andererseits das gesammelte Material nicht nur aus Keimlingen, sondern aus beigemengten Kleiehüllen und Stärke besteht, wie die Analysen zeigen. Ich habe schon anderenorts darauf aufmerksam gemacht, daß die Zellmembranen der Keimlinge von anderer Natur als die Kleiezellen sein müssen, was auch ihre leichte Verdaulichkeit beweist. Wenn man die Zellmembran bei Gemüsen, Obst und

bei den Kartoffeln betrachtet, so schwankt der Zellulosegehalt zwischen 45 und 50 Prozent bei geringem oder mittlerem Pentosangehalt. Mit Berücksichtigung dieser Umstände kann man etwa eine Beimengung von einem Viertel bis einem Fünftel zu den sonstigen Zellmembranen der Keimlinge annehmen. Das reine Keimlingsgewebe würde demnach (aschefrei betrachtet) etwa zu drei Vierteln aus Eiweiß, fast zu einem Viertel (etwa 23 Prozent) aus Fett und zu einem Zehntel aus Zellmembran bestehen, ein Nahrungsgemenge, das von dem eigentlichen Mehlkern grundverschieden ist.

Unter dem geringen Abfall macht die Schälkleie die Hauptmasse der Abscheidung aus. Sie enthält noch weit mehr Zellmembran als das Spreumehl, etwa 50 Prozent aller organischen Bestandteile treffen auf Zellmembran. Die Frucht- und Samenschale wird jedoch nicht allein abgeschieden, sondern noch anderes hinzu, nämlich erhebliches vom Mehlkern, der also beim Auslesen der Keimlinge und der Trennung der Samenschale verletzt wird. Über den Proteingehalt der Schälkleie kann man sagen, daß er sowohl durch Reste der Kleberzellenschicht wie durch Reste der Keimlinge bedingt oder wenigstens über seinen natürlichen Gehalt hinaus erhöht sein wird.

Der Schälprozeß ist ein wesentlicher, die Verdaulichkeit des Mehles erhöhender Vorgang, weil er so weitgehend wirklich Zellmembranen abscheidet. Der Vorschlag, gerade die Schälkleie beim Mehl zu lassen, und die Tendenz, ihren Nährwert auszunützen, basiert auch auf der falschen Voraussetzung eines hohen Gehaltes an N-freiem Extrakt. Nach üblicher Auffassung würde man der Schälkleie einen Gehalt von 64·98 Prozent N-freien Extraktes zuschreiben müssen, tatsächlich enthält sie nur 24·92 Prozent Stärke + 3·64 Prozent freie Pentosen = 28·56 Teile. Jedes Gramm Schälkleie bedeutet eine Verschlechterung des Mehles um 0·5 g Zellmembran. Eine gute Schälung ist der Haupteingriff zur Herstellung eines zellmembranarmen Mehles. Die Schälung ist dem gewöhnlichen Mahlverfahren zur Beseitigung der Kleie wesentlich überlegen.

Über das Verhältnis der Zusammensetzung der Schälkleie und der Kleie nach Zertrümmerung des Kornes mögen folgende Zusammenstellungen eigener Analysen Auskunft geben.

Die Kleien bei 90prozentiger und 70prozentiger Ausmahlung zeigen gesetzmäßige Unterschiede, der Aschegehalt bleibt etwa derselbe, also nimmt mit jeder weiteren Ausmahlung der Aschengehalt des Mehles ab, was bekannt ist. Der N-Gehalt nimmt mit Ausmahlung von zunehmender Kleie als Abfall zu, weil mehr Kleiezellen in der Kleie entfallen; die Menge der Substanzen aus dem Mehlkern nimmt zu. Daher die Abnahme der

Pentosane, der Zellmembran, der Zellulose und der Restsubstanz. Der Pentosangehalt der Zellmembran nimmt ab, weil die Zellmembran geringer wird, dagegen nimmt in der Zellmembran selbst der Pentosangehalt zu. Es müssen also auch die Kleberzellen in ihren Wänden relativ viel Pentosan enthalten. Der Stärkegehalt wächst sehr an, aber doch nur langsam. Mehrt sich die Kleie von etwa 3 Prozent auf fast das Zehnfache, so steigt der Stärkegehalt doch nur von 25 auf 37 g.

In 100 Teilen Kleie sind:

	Reine Schälkleie	$^1/_2$ Schälkleie[1] + $^1/_2$ Mahlkleie = 90 Prozent Ausmahlung	Mahlkleie bei 70 Prozent Ausmahlung[2]
Asche	5·74	5·80	5·89
Organisch	94·26	94·20	94·11
N	2·25[3]	2·47[4]	2·66[5]
Pentosan	23·24	24·27	22·65
Zellmembran	47·94	37·97	25·94
Zellulose	11·50	9·64	7·20
Pentosan der Zellmembran	19·60	16·88	11·78
Restsubstanz der Zellmembran	16·84	11·45	6·96
Fett	3·70	3·70	3·70
Stärke	24·92	29·70	36·98
Kalorien	458·10	452·20	445·10
In 100 Teilen Zellmembran sind:			
Zellulose	23·98	25·10	27·76
Pentosan	40·88	44·42	45·41
Restsubstanz	35·14	30·48	26·83

Hier tritt das, was ich bereits ohne nähere systematische Untersuchung schon mehrfach betont habe, mit aller Sicherheit entgegen: die Kleie ist eine Handelsware, entspricht aber nicht einem einheitlichen Produkt.

Ich möchte aber noch folgendes anfügen. Die Ausmahlung bei 90 Prozent und 70 Prozent ist nicht völlig gleichartig gehandhabt worden. Bei 90 Prozent wurde erst gereinigt und geschält und dann erst weiter vermahlen. Für das Mehl mit 70prozentiger Ausmahlung ist nicht sicherzustellen, ob eine Schälung vorgenommen oder ob das nach üblicher Reinigung behandelte Korn gleich dem Mahlprozeß zugeführt wurde. Es wäre möglich, daß die Schälung oder das Unterlassen derselben sich noch

[1] 7 Prozent Kleie vom Vollkorn.
[2] Etwa 27 Prozent Kleie vom Vollkorn.
[3] = 14·06 Protein.
[4] = 15·43 Protein.
[5] = 16·62 Protein.

in der Zusammensetzung der Kleie fühlbar macht, auch wenn bis 70 Prozent ausgemahlen wird. Doch dürfte dieser Einfluß nicht mehr erheblich sein. An der Hand der Ausmahlungswerte und der Analysen läßt sich jetzt zeigen, wie sich der Charakter eines Vollkornmehles gegen Ende der Vermahlung des Kornes allmählich ändert, wenn die näher aufgeführten Bestandteile abgetrennt werden. Unter den Verlusten ist auch aufgeführt der Wasserverlust und der Verlust durch Verstäubung. Für eine Rechnung ist es nicht angängig, von der lufttrockenen Substanz auszugehen, da der Wassergehalt der verschiedenen Proben der Reinigung ungleich ist. Ich habe daher alle Produkte, Mehl wie Schälkleie, und auf Trockensubstanz berechnet. Den Verlust durch Verstäubung habe ich beim Mehl zugezählt, den Putzabfall zur Spreu und nach den Analysen berechnet.

So ist nachstehende Tabelle entstanden.

Zusammensetzung der Reinigungsabgänge für 100 Teile ungereinigtes Korn.

	Proz. in 100 Teilen	Asche	N	Pentosan	Zell-membran	Stärke	Kalorien
Mehl + Staubverlust . . .	95·25	1·920	1·606	10·140	5·710	67·211	419·60
Spreu + Putzabfall	0·44	0·051	0·009	0·060	0·145	0·174	1·70
Trieurabfall	0·56	0·038	0·010	0·050	0·037	0·361	2·31
Keimlinge	0·99	0·067	0·065	0·072	0·079	0·247	4·80
Schälkleie	2·76	0·158	0·062	0·640	1·323	0·660	12·30
Summe . .	100·00	2·234	1·752	10·962	7·294	68·653	440·71

Zusammensetzung der heute im Mehl verbleibenden Anteile.

	Prozent	Asche	N	Pentosan	Zell-membran	Stärke	Kalorien
Mehl + Staub	95·20	1·920	1·606	10·140	5·710	67·211	419·60
$^1/_2$ Trieurabfall	0·28	0·019	0·005	0·025	0·018	0·150	1·15
Putzabfälle	0·22	0·041	0·004	0·030	0·072	0·087	0·85
Schälkleie	2·76	0·158	0·062	0·640	1·323	0·660	12·83
Summe . .	98·46	2·138	1·677	10·835	7·123	68·138	433·19
Summe der Abfälle	3·26	0·218	0·071	0·695	1·413	0·897	14·83

Von den Abfällen ist wesentlich der Menge nach die Schälkleie allein größer als alle anderen Abfälle zusammengenommen.

Das ursprüngliche Korn entsteht rechnerisch aus der Summierung des Mehles und der Abfälle. Bemerkenswert erscheint der geringe N-Gehalt

und vor allem der geringe Gehalt an Zellmembranen. Noch liegt kein vergleichendes Material vor, aus dem man in größeren Reihen den Zellmembrangehalt bestimmt hätte. Mir scheint der Zellmembrangehalt von 7·3 Prozent ein sehr geringer zu sein, wenn ich damit die Erfahrungen an anderem Roggenmehl vergleiche, die bei weitgehender Ausmahlung fast ebensoviel enthalten haben wie dieses Vollkorn.

Vom Mehl enthält man folgendes weniger als vom Vollkorn:

Bei der Asche	—11·2	Prozent
,, N	— 8·3	,,
,, Pentosan	— 7·5	,,
,, Zellmembran	—21·7	,,
,, Stärke	— 2·1	,,
,, den Kalorien	— 4·78	,,

Der Reinigungsprozeß trifft also die Verminderung an Zellmembran in erster Linie; fügt man dem Mehl, wie es jetzt geschieht, die Hälfte der Rade, die Putzmaschinenüberschläge und die Schälkleie noch hinzu, so findet die Vermehrung des Mehles wesentlich auf Kosten der letzteren und deren Zellmembran statt. Das Unzweckmäßige eines solchen Gebarens bedarf keiner weiteren Erläuterung, es kommt wesentlich der Beimengung der Zellmembran gleich.

Oben wurde erwähnt, daß heute von den Reinigungen der Schälabfall zum größten Teil doch in das Mehl hinein gelangt. In der Tabelle auf S. 278 habe ich nach meinen Analysen die Zusammensetzung einer solchen Mischung von Mehl und Abfällen berechnet. Man sieht, die Hauptmasse der dem Mehl in unzulässiger Weise zugemischten Abfälle ist die Schälkleie. Der ganze Gewinn an Nährenden ist auch, analytisch betrachtet, nur sehr gering. Die Hauptmasse der Nährstoffmehrung besteht aus der schwer resorbierbaren Zellmembran. Nimmt man diese 3·26 Prozent Abfälle und berechnet ihre Zusammensetzung, so versteht sich von selbst, daß wesentlich die Schälkleie dominiert. Für Pflanzenfresser ist sie jedenfalls ein gutes Nahrungsmittel. Für den Menschen sicher nicht. Daher ist die Mindestforderung, daß mit dem heutigen, öffentlich allerdings sanktionierten Bruch mit der hygienischen und physiologischen Forderung der Reinheit des Mehles und Beseitigung von Unverdaulichem und Unkrautsamen ein Ende gemacht wird. Was dann noch erhalten wird, ist der Hauptsache nach ein mehr oder minder vollständig dekortiziertes Getreide.

Versuche über die Verdaulichkeit im Roggenbrot aus Mehl bei 94 prozentiger Ausbeute.

Mit dem Mehl, dessen Herstellung eben beschrieben wurde, ist Brot gebacken und zu Versuchen über die Verdaulichkeit benützt worden. Die Gärung geschah mit Sauerteig. Das Brot war dunkel, aber von gleichmäßiger Beschaffenheit. Zur Ausführung standen zwei Versuchspersonen zu Gebote, von denen die eine schon zu den Versuchen mit Kriegsbrot 1917 gedient hatte, was von einiger Bedeutung ist. Die Versuchsreihe dauerte eine Woche; wie immer war es der Versuchsperson überlassen bis zur Sättigung Brot aufzunehmen. Daneben erhielten sie noch kleine Zulagen. Das Nähere enthalten die beiden nachfolgenden Tabellen.

Roolfs.
94 Prozent Roggenmehl.

8.	22.	64·10	1150	50	30	2.	1150	1660	7·0	—	—	—
9.	23.	—	1115	50	30	2.	1118	900	6·9	1⁰⁰ N.	185	45
10.	24.	64·50	1115	50	30	2.	1123	1600	7·1	8⁰⁰ V.	525	110
11.	25.	—	1175	50	30	2.	1178	1100	7·5	9⁰⁰ V.	250	55
										8³⁰ N.	680	130
12.	26.	—	1020	50	30	2.	1040	1500	7·3	10³⁰ N.	170	30
13.	27.	—	1120	50	30	2.	1151	1440	7·9	12³⁰ N.	320	65
14.	28.	63·00	940	50	30	2.	979	1180	6·8	7³⁰ V.	490	95
—	29.	—	—	Kartoffel, Spinat			7739	—	—	11³⁰ N.	220	45
						im Tag	1106	—	—	7³⁰ V.	280	55

Abgrenzung 630 = 665 g im Tag 95·0 g

Brot I 700 g frisch = 435 g lufttrocken.
Brot II 690 g frisch = 435 g lufttrocken.

Kollmann.
94 Prozent Ausmahlung.

8.	23.	57·00	1045	30	2.	1048	1480	7·5	—	—	—
9.	24.	—	1070	30	2.	1078	1360	6·9	8⁰⁰ V.	350	65
10.	25.	—	1050	30	2.	1071	1500	7·0	8⁰⁰ V.	405	75
									4⁰⁰ N.	220	45
11.	26.	57·00	1065	30	2.	1086	1660	6·4	8⁰⁰ V.	415	80
12.	27.	—	1045	—	2.	1063	1420	6·4	8⁰⁰ V.	345	70
									5⁰⁰ N.	285	60
13.	28.	—	1015	—	—	1032	1640	7·2	8⁰⁰ V.	315	60
14.	29.	56·50	1125	—	—	1152	1580	5·8	8⁰⁰ V.	420	85
									4⁰⁰ N.	310	55
				Kartoffel, Spinat			7530	—	8⁰⁰ V.	195	40
						im Tag	1076	—	4⁰⁰ N.	170	30
									Abgrenzung		665

= 715 g gepulvert
= 102 g

Brot I 700 g frisch = 435 g lufttrocken.
Brot II 690 g frisch = 435 g lufttrocken.

Die Zusammensetzung der Einnahmen und Ausgaben sind wie folgt zusammengestellt.

Brot von 94 Prozent Ausmahlung.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

		Roolfs 690·1 g Brot	Kollmann 671·4 g Brot
Asche	2·60	17·94	17·44
Organisch	97·40	672·16	653·96
N	1·65[1]	11·39	11·08
Pentosan	9·98	68·86	67·00
Zellmembran	6·51	44·91	43·69
Zellulose	2·27	15·66	15·23
Pentosan der Zellmembran	2·37	16·35	15·89
Restsubstanz	1·87	21·90	12·59
Fett	1·91	13·18	12·83
Stärke	71·06	490·38	477·09
Kalorien	426·30	2941·80	2862·10

Kot.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	34·87
Pentosan	36·40
Restsubstanz	28·72

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	Roolfs	Kollmann	Roolfs in 89·61 Teilen	Kollmann in 97·10 Teilen
Asche	8·27	7·68	7·41	7·46
Organisch	91·73	93·32	82·20	89·64
N	4·90	4·06	4·39	3·94
Pentosan	16·04	16·42	14·37	15·95
Zellmembran	35·12	34·46	31·46	33·46
Zellulose	14·75	13·07	13·21	12·69
Pentosan der Zellmembran	11·68	10·64	10·46	10·33
Restsubstanz	8·69	10·75	7·79	10·44
Fett	7·15	4·91	6·40	4·77
Stärke	8·88[2]	12·99	7·97	12·61
Kalorien	498·5	487·10	446·70	472·70

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	Roolfs	Kollmann	Mittel
Zellulose	41·85	37·92	39·88
Pentosan	33·25	30·88	32·06
Restsubstanz	24·90	31·20	28·06

Die Analyse des Brotes stimmte nicht genau mit der des Mehles zusammen; der Grund lag darin, daß Sauerteig unbekannter Zusammensetzung Verwendung gefunden hatte, was mir erst später mitgeteilt worden

[1] = 10·31.

[2] Direkt bestimmt.

war. Das Brot kann aber als ein Beispiel eines schwach dekortizierten Materials angesehen werden, wie es etwa bei hygienisch nicht zu beanstandender Verarbeitung des Getreides und gleichzeitiger Entkeimung gewonnen werden konnte. Da das Korn selbst arm an Zellmembran war, ist auch der Gehalt des Brotes an solcher recht mäßig. Ich habe früher[1] im Roggenbrot von 82 Prozent Ausmahlung etwa ebensoviel Zellmembran beobachtet wie hier bei 94 Prozent Ausmahlung, wieder ein Beispiel, daß die Ausmahlungsprozente noch nichts über die Beschaffenheit des Mehles besagen; auch die Art der Zellmembran kann in ihrer Zusammensetzung bei gleichem Zellmembrangehalt in gewissen Grenzen schwanken.

Die Ausscheidungen waren bei diesem Versuch ähnlich jenen bei etwa gleichem Zellmembrangehalt des Brotes: über ein Drittel der Trockensubstanz des Kotes war Zellmembran.

In der Zellmembran der Ausscheidung war die Zellulose reichlicher enthalten als in jener der Zufuhr.

Über den Verlust der einzelnen Nahrungsbestandteile in Prozenten gibt nachstehende Tabelle Aufschluß.

Der Verlust betrug bei Ernährung mit Brot von 94prozent. Ausmahlung:

	Bei Roolfs	Bei Kollmann	Mittel
An N	38·54	35·56	37·05
„ Kalorien	15·19	16·52	15·85
„ Zellmembran	70·05	76·58	73·31
„ Zellulose	84·29	83·30	83·79
„ Pentosan der Zellmembran	63·97	65·01	64·49
„ Restsubstanz	60·39	82·92	71·65
„ freien Pentosanen	7·45	10·99	9·22
„ Stärke	1·63	2·65	2·14
„ Gesamtpentosan	20·87	20·81	20·84

Die zwei Versuchspersonen K. und R. wichen in allen wesentlichen Punkten nur sehr wenig voneinander ab; der N-Verlust entsprach den durchschnittlichen Werten der Ausnützung des Roggen-N überhaupt. Der Kalorienverlust war nur wenig höher, als ich früher bei einem ähnlichen Zellmembrangehalt gefunden hatte. Die Zellmembran war etwas ungünstiger verdaut, auch die Stärke um einige Zehntel Prozent weniger gut aufgenommen worden. Am einflußreichsten auf das ganze Ergebnis ist stets das Verhalten der Zellmembran, da von ihr sowohl Einfluß auf die Kalorienausnützung als auch auf die Resorption des N, insbesondere auch auf die Proteinresorption ausgeübt wird.

[1] a. a. O. S. 193.

Zur näheren Erklärung der Verhältnisse der Verluste ist es nötig, die N-Ausscheidung im Kot sowie die Menge des Unverdauten in den Stoffwechselprodukten näher kennen zu lernen. Die nachfolgenden Tabellen geben darüber Aufschluß.

94 Prozent Ausmahlung.

Person	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozentverlust an N im Protein	Von 100 Tle. Kot-N sind Stoffw.-Prod.
R.	17·29	89·6	15·48	2·47	4·39	1·92	11·39	21·68	43·73
K.	15·19	97·1	14·74	2·36	3·94	1·58	11·08	21·29	40·10
							Mittel	21·48	41·91

94 Prozent Ausmahlung.

Person	Verlust an Kalorien pro Tag durch				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot an Stoffwechselprod.	Verzehrte Kalorien im Tag	Vom Verzehrten entstehen Stoffw.-Prod.	Von 100 Kal. d. Kotes tr. auf Stoffw.-Prod.
	Stärke	Zellmembran + Protein	Pentosan	Summe					
R.	32·67	218·74[1]	16·03	267·44	446·7	179·2	2941·8	6·09	39·67
K.	51·70	222·90[2]	23·04	297·60	472·7	175·1	2862·1	6·11	36·11
							Mittel	6·10	37·89

Der N-Verlust an Protein hält sich bei diesen Versuchen genau innerhalb der Grenzen, wie ich sie früher bei Roggenmehl hochgradiger Ausmahlung gefunden habe; an Stoffwechsel-N ist gleichfalls der Befund dem Erwarteten entsprechend. Die Menge der Stoffwechselkalorien innerhalb geringer Schwankungen steht im Einklang mit dem Kriegsbrot und dem Roggenbrot hoher Ausmahlung überhaupt.

Was die N-Bilanz betrifft, so waren die beiden Personen (wenn man von der N-Ausscheidung im Schweiße absieht) etwa im Gleichgewicht.

94 Prozent Ausmahlung.
Roolfs:

Tag	N im Harn	N im Kot	Summe	N aufgenomm.	Bilanz
8.	7·0	4·39	11·39	11·82	+0·43
9.	6·9	—	11·29	11·50	+0·21
10.	7·1	—	11·49	11·55	+0·06
11.	7·5	—	11·89	12·11	+0·22
12.	7·3	—	11·69	10·70	−0·99
13.	7·9	—	12·29	11·84	−0·45
14.	6·8	—	11·19	10·07	−0·92
	7·21	4·39	11·60	11·39	−0·21

[1] 128·98 Zellmembran + 89·76 = 218·74.
[2] 137·18 Zellmembran + 85·72 = 222·90.

Kollmann:

Tag	N im Harn	N im Kot	Summe	N aufgenommen	Bilanz
8.	7·5	3·94	11·44	10·78	− 0·66
9.	6·9	—	10·84	11·08	+0·24
10.	7·0	—	10·94	11·01	+0·17
11.	6·4	—	10·34	11·16	+0·82
12.	6·4	—	10·34	10·93	+0·59
13.	7·2	—	11·14	10·61	− 0·53
14.	5·8	—	9·74	11·85	− 2·11
	6·77	3·94	10·71	11·08	+0·37

Mischung von Roggenmehl (94 prozent. Ausmahlung) mit Maismehl im Verhältnis von 9 : 1.

Aus dem Mehl des vorigen Versuches wurde durch Mischung mit 10 Prozent feinem Maismehl als Streckungsmittel ein Brot hergestellt, wobei gleichfalls Sauerteig beigefügt wurde. Das Aussehen des Brotes war nicht wesentlich anders als das vorige. Jedenfalls war auch keine ungünstige Rückwirkung zu konstatieren, wie das z. B. bei dem Kartoffelzusatz der Fall ist. Das Maismehl hatte folgende Zusammensetzung.

In 100 Teilen Trockensubstanz:

Asche	0·77
Organisch	99·23
N	1·22
Pentosan	3·34
Zellmembran	2·08
Pentosan der Zellmembran	0·66
Kalorien	424·90

Die Versuche wurden an denselben Personen ausgeführt wie die Versuche mit Brot von 94 Prozent Ausmahlung und gleichfalls je eine Woche. Bei der geringen Verschiedenheit der Zusammensetzung sind besondere Verschiedenheiten der Verdaulichkeit nicht zu erwarten, wenn nur die Mischungsverhältnisse allein in Betracht kämen. Für Kartoffel- und Roggenmischungen hatte sich die aprioristische Annahme allerdings nicht bestätigt. Die nachfolgenden Tabellen enthalten das Nähere über Ausführung und Verlauf des Versuches.

94 Prozent ausgemahlenen Roggen. 90 Teile + 10 Teile Maismehl

Roolfs. I. Periode.

Nr.	Tag	Gewicht	Nahrung		Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trock.
1.	14. IV. 15. IV.	65·10	940 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	940	2240 920	5·9 10·1			
2.	16. IV.		1010 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1017	1220	8·4	9^{30} V. 11^{00} N.	110 295	20 60
3.	17. IV.	65·00	1140 g Brot, 30 g Butter, 50 g Zucker, 2 l Kaffee	1178	1260	7·5	10^{00} V. 9^{30} N.	100 500	20 95
4.	18. IV.		1060 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1076	1540	7·2	9^{30} N.	250	50
5.	19. IV.		1090 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1114	1440	6·1	1^{30} N.	390	75
6.	20. IV.		1150 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1175	1840	6·4	12^{30} N. 10^{30} N.	330 375	70 65
7.	21. IV.	64·10	980 g Brot, 50 g Zucker, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1009	1440	6·3	6^{00} N.	230	50
8.	22. IV.		Summe	7479			6^{30} N.	385	75

Im Tag 1068 = 659·0 Trockens. 580 = 600

Im Tag 85·6 g

Kollmann. I. Periode.

Nr.	Tag	Gewicht	Nahrung		Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trock.
1.	16. IV.	57·80	1070 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1077	1640 1220	7·73 7·2			
2.	17. IV.		1090 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1098	1420	7·8	8^{00} V.	360	60
3.	18. IV.	57·60	1140 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1156	1600	7·8	8^{00} V. 6^{00} N.	315 305	60 60
4.	19. IV.		1200 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1221	1740	7·8	8^{00} V.	345	65
5.	20. IV.		1160 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1184	1540	7·7	8^{00} V. 7^{00} N.	380 300	70 55
6.	21. IV.		1020 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1042	1420	7·2	8^{00} V.	295	60
7.	22. IV.	57·50	1085 g Brot, 30 g Butter, 2 l Kaffee	1117	800	6·0	8^{00} V. 6^{00} N.	280 295	55 60
8.	23. IV.		Summe	7895			8^{00} V	305	60
			Im Tag	1128			6^{00} N.	240	50

= 696·1 g Trockensubstanz 655

= 700 g gepulvert

im Tag = 1000 g

Über die Zusammensetzung des Brotes und über die Ausscheidungen bringt das nachfolgende die nähere Auskunft.

Brot I.

In 100 Teilen Brot (trocken) sind:

		In 659·0 g Roolfs	In 696·1 g Kollmann
Asche	2·16	14·22	14·92
Organisch	97·84	644·78	681·18
N	1·59[1]	10·47	11·06
Pentosan	8·56	56·40	59·57
Zellmembran	6·46	42·44	44·97
Darin Zellulose	1·75	11·62	12·18
Darin Pentosan	2·04	13·44	14·19
Restsubstanz	2·67	17·38	18·60
Fett	1·50	—	—
Stärke	73·43	483·89	511·13
Kalorien	424·80	2799·40	2956·90

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	28·86
Pentosan	37·67
Rest	39·47

Kot.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	Roolfs	Kollmann	In 79·7 g Roolfs	In 93·6 g Kollmann
Asche	7·66	7·27	6·10	6·79
Organisch	92·34	92·73	73·60	86·80
N	5·50	4·42	4·38	4·41
Pentosan	15·94	15·28	12·60	14·30
Zellmembran	28·75	32·66	22·91	30·56
Darin Zellulose	10·49	10·39	8·36	9·72
Darin Pentosan	8·88	9·12	7·07	8·53
Restsubstanz	9·38	13·15	7·48	12·31
Fett	8·19	4·68	—	—
Stärke	8·99	13·89	7·26	13·00
Kalorien	484·30	488·80	386·00	457·40

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	Roolfs	Kollmann	Mittel
Zellulose	36·49	31·81	34·15
Pentosan	30·95	27·95	29·45
Rest	32·56	40·24	36·30

[1] = 9·93 Protein.

Die Ausscheidungen waren nur wenig geringer wie früher. Der Zellmembrangehalt derselben war wesentlich geringer. Die Ergebnisse enthalten folgende Tabelle.

	Roolfs	Kollmann	Mittel
An N	41·93	37·43	39·68
,, Kalorien	14·50	15·50	15·00
,, Zellmembran	53·98	67·94	60·94
,, Zellulose	71·94	79·80	75·86
,, Pentosan der Zellmembran	52·60	60·11	56·35
,, Restsubstanz	43·03	66·15	54·59
,, freien Pentosanen	12·87	12·71	12·79
,, Stärke	2·59	2·54	2·56
,, Gesamtpentosan	22·16	24·00	23·08

Der Verlust an N, auch an Kalorien, bewegt sich in denselben Grenzen wie bei reinem Roggenbrot. Die beiden Personen unterscheiden sich auch nicht wesentlich. Nur die Zellmembranen sind etwas besser verdaut. Im ganzen sind die Unterschiede gegenüber dem Mehl von 94 Prozent gering. Man darf wohl vermuten, daß Brot vielleicht schon an sich wegen geringer Differenzen in der Backweise (stärkere Erhitzung des Bodens des Brotes, Unterschiede in der Erhitzung der Kruste u. dgl.) zu kleinen Differenzen Anlaß gibt.

Die Stoffwechselprodukte N-haltiger Natur verteilen sich ebenso wie bei reinem Roggenbrot, auch die Stoffwechselkalorien lassen besondere Eigentümlichkeiten nicht erkennen.

Roggen und Mais.

Person	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozentverlust an N in Protein	Von 100 Tln. Kot-N sind Stoffwechselprodukte
R.	17·18	79·7	13·67	2·10	4·38	2·19	10·47	20·91	50·00
K.	15·58	93·6	14·58	2·33	4·14	1·81	11·06	21·07	43·72
								20·99	46·86

Roggen und Mais.

Person	Verlust an Kalorien pro Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien pro Tag	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. des Kotes treffen auf Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
R.	29·80	173·21[1]	22·67	225·68	386·0	160·3	2799·4	5·72	41·50
K.	53·30	209·85[2]	23·65	286·80	475·4	170·6	2956·9	5·77	37·29
								5·74	39·39

[1] 93·93 Kalorien in Zellmembran + 79·28 als Protein.
[2] 125·29 Kalorien in Zellmembran + 84·56 als Protein.

Die Versuchsperson R. zeigte deutlich durchschnittlich, was die N-Bilanz anlangt, einen geringen Verlust, kam aber gegen das Ende der Reihe etwa ins Gleichgewicht. Person K. verlor wenig an N.

Roggen und Mais.

Roolfs:

Tag	N im Harn	N im Kot	Summe	N aufgenommen	Bilanz
1.	10·10	4·38	14·48	9·21	−5·27
2.	8·40	—	12·78	10·08	−2·70
3.	7·50	—	11·88	11·25	−0·63
4.	7·20	—	11·58	10·55	−1·03
5.	6·10	—	10·48	10·92	+0·44
6.	6·40	—	10·78	11·52	+0·74
7.	6·30	—	10·68	9·89	−0·59
	7·43	4·38	11·81	10·47	−1·34

Vor Beginn des Versuches 5·9 g N im Harn.

Kollmann:

Tag	N im Harn	N im Kot	Summe	N aufgenommen	Bilanz
1.	7·20	4·14	11·34	10·56	−0·78
2.	7·80	—	11·94	10·77	−1·17
3.	7·80	—	11·94	11·34	−0·60
4.	7·80	—	11·94	11·97	+0·07
5.	7·70	—	11·84	11·63	−0·21
6.	7·20	—	11·34	10·52	−1·52
7.	6·00	—	10·14	10·59	+0·45
	7·36	4·14	11·50	11·06	−0·44

Vor Beginn des Versuches 7·72 g N im Harn.

Zum Vergleich stehen mir zwei ausgeführte Versuchsreihen zu Gebote; eine Gegenüberstellung der Resultate zeigt folgendes:

	Frühere Reihe		Neue Reihe	
	in Prozenten			
Zellmembrangehalt	7·75	6·69	6·51	6·46
N-Verlust	39·30[1]	40·30	37·05	39·68
Proteinverlust	25·90	21·60	21·48	20·99
Verlust an Stoffwechsel-N	13·40	18·70	15·57	18·69
Kalorienverlust	14·80	13·50	15·19	15·00
Verlust an Stoffwechselkalorien	7·47	7·07	6·10	5·74
Verlust an Unverdautem	7·30	6·40	9·09	9·26
Verlust an Zellmembran	47·00	55·70	73·00	60·94

Von diesen Versuchen ist der erste mit Mehl bei feuchter Vermahlung ausgeführt, also in der Technik des Mahlens verschieden; die drei anderen

[1] In der Veröffentlichung 1916, S. 174, muß es bei Person Sch. unter N-Ausscheidung 4·20 statt 3·44 heißen, der N-Verlust wird dann 41·82 Prozent und das Mittel 39·3 wie oben; ebenso ist statt 10·2 dann 13·4 bei Stoffwechsel-N zu setzen. Die Übereinstimmung der Werte wird dadurch besser.

sind bei trockener Vermahlung des Kornes ausgeführt. Die Resultate stimmen bei gleichem Zellmembrangehalt sehr nahe überein. Nur hinsichtlich der Zellmembran bestehen Unterschiede. Bei 6·51 Prozent Zellmembran war die Verdauung am schlechtesten, wodurch sich auch der Kalorienverlust etwas erhöhte. Am wechselndsten ist der Verlust an Stoffwechsel-N; es ist auch bekannt, daß gerade der N-Verlust im Darm zu allererst dann beeinflußt wird, wenn es sich um geringfügige Störungen der Verdauung handelt.

Das Klopferbrot nach Herstellung und Zusammensetzung.

A.

Die experimentelle Untersuchung des Klopferbrotes hat nicht das Ziel, einen bestimmten Handelsartikel auf seine Verdaulichkeit zu prüfen, das würde an sich eine Besprechung an dieser Stelle kaum rechtfertigen, vielmehr liegt das Ziel darin, in einem sozusagen Schulfalle auseinanderzusetzen, wie die Bearbeitung des Kornes durchgeführt wird, um dieses „Vollkornbrot" zu erreichen. Zu diesem Zwecke mußte nicht nur die eingehende Untersuchung der Verdaulichkeit des Brotes, sondern vor allem auch die Art der Vermahlung und die Überwachung des Mahlbetriebes durch eine fachwissenschaftliche Aufsicht sichergestellt werden. Ohne diese Garantie hat jedwede Bearbeitung solcher Fragen gar keinen Wert. Den technischen Teil der Untersuchung hat Professor Buchwald ausgeführt.

Die eingehende Beschreibung des Mahlversuches findet sich am Schluß der Arbeit anhangsweise im Original des Berichtes wiedergegeben. Die Vermahlung erfolgte mit 32 Sack Roggen = 2468·5 kg Reingewicht mit 14·7 Prozent Wassergehalt und 1·83 Prozent Asche der Trockensubstanz. Dieses Getreide war aber bereits von den üblichen Unreinheiten befreit, also geputzt, wie dies vor jeder Vermahlung geschehen soll, in Kriegszeiten aber leider nicht geschehen ist.

Nun erfolgte eine Schälung, d. h. Dekortikation, mit 5·5 Prozent Abfall. Der geschälte Roggen hatte 14·66 Prozent Feuchtigkeit und 1·73 Prozent Asche der Trockensubstanz. Die Keimlinge, welche bei der Schälung mit abfallen, werden isoliert, entbittert und später dem Mehl zugefügt; dieser Zusatz beträgt 1 Prozent des ursprünglichen Roggens, so daß im ganzen aus 100 Teilen gereinigtem Roggen 94 Prozent Ausbeute an fertigem Mehl erhalten werden.

Ich gebe in nachfolgendem die stufenweise Veränderung des Mahlgutes wieder; zunächst mag das Ausgangsmaterial und der geschälte Roggen (5·5 Prozent Abfall) miteinander verglichen werden.

	Ursprüngliches Korn	Dekortiziertes Korn
	in 100 Teilen Trockensubstanz	
Asche	1·82	1·70
Organisch	98·18	98·30
N	1·67[1]	1·58[2]
Pentosan	10·64	9·03
Zellmembran	9·09	6·40
Zellulose der Zellmembran	2·25	1·71
Pentosan der Zellmembran	3·97	3·01
Restsubstanz der Zellmembran	4·51	2·54
Stärke	70·57	74·40
Fett	1·42	1·66
Kalorien	430·60	429·70

Aus dem gereinigten, d. h. dekortizierten Korn wurde das eigentliche „Vollkornmehl" hergestellt und noch 1 Prozent Roggenkeimlinge hinzugefügt; außerdem wurde ein Mehl entnommen, das nur einer Ausmahlung von 75 Prozent entspricht. Beide Mehle wurden dann zur Herstellung von Brot verwendet. Zwar ist nicht anzunehmen, daß bei der Brotbereitung wesentliche Verschiebungen in der Zusammensetzung auftreten, immerhin wurde aber doch das Mehl wie Brot getrennt untersucht. Über die Zusammensetzung der Mehle gibt folgende Tabelle Aufschluß.

In 100 Teilen trocken:

	94 Prozent Ausmahlung		75 Prozent Ausmahlung	
	das Mehl	das Brot	das Mehl	das Brot
Asche	1·82	2·81	1·44	2·05
Organisch	98·18	97·19	98·56	97·95
N	1·71[3]	1·67[4]	1·48[5]	1·55[6]
Pentosan	9·16	8·15	8·35	7·82
Zellmembran	6·32	6·23	4·96	4·54
Zellulose	1·90	2·01	1·65	1·64
Pentosan der Zellmembran	2·59	2·57	1·67	1·45
Restsubstanz der Zellmembran	1·83	1·65	1·64	1·45
Fett	2·04	(2·04)	1·66	(1·66)
Stärke	72·57	72·71	76·21	75·70

Die Zahlen für die Zusammensetzung des Brotes sind beigefügt. Von dem dekortizierten Mehl wurden 94·5 Prozent des ursprünglichen Kornes erhalten. Das Ergebnis zeigt folgendes:

[1] = 10.43 Protein.
[2] = 9.87 Protein.
[3] = 10·68 Protein.
[4] = 10·43 Protein.
[5] = 9·25 Protein.
[6] = 9·68 Protein.

Das verwendete Korn war an sich nicht reich an Zellmembran, soweit ich nach meinen bisherigen Analysen ein Urteil zu fällen vermag.

Bei der Dekortikation sinkt der Zellmembrangehalt auf 70·4 Prozent des früheren, also nahezu um ein Drittel, was sehr erheblich ist, weil ja der Gewichtsverlust im ganzen nur 5·5 Prozent ausmacht. Die einzelnen Bestandteile des Kornes nehmen also in verschiedenem Maße bei der Schälung ab; am besten geht das aus der Gegenüberstellung der Zahlen des ursprünglichen Kornes und des geschälten Produktes hervor, wenn wir zu diesem Vergleich die Werte des dekortizierten Kornes auf 94·5 Teile, d. h. den Schälungsgrad, umrechnen.

	Ursprüngliches Korn	94·5 Teile dekort. Korn	Verlust Prozent
Asche	1·82	1·61	– 11·54
Organisch	98·18	94·00	– 4·26
N	1·67	1·49	– 10·78
Pentosan	10·64	8·53	– 19·84
Zellmembran	9·09	6·05	– 29·60
Darin Zellulose	2·25	1·61	– 28·45
Darin Pentosan	3·97	2·84	– 28·46
Stärke	70·47	70·31	– 0·24
Fett	1·52	1·56	—
Kalorien	430·60	406·00	– 5·71

Der Schälprozeß nimmt also verhältnismäßig viel Eiweiß und Asche fort, ferner einen erheblichen Teil der Pentosane, der jedoch auf die Rechnung der Beseitigung der Zellmembran zu beziehen ist. Er läßt das Stärkemehl intakt, insofern muß dieses Schälverfahren als gut gelungen bezeichnet werden. Bei Untersuchung anderer Schälverfahren habe ich gelegentlich beobachtet, daß die abgeschiedene Kleie weniger N-haltig ist als die nach dem Klopferverfahren erhaltene. Es ist also möglich, daß hier der Keimling vollkommen zur Kleie fällt; ein Angreifen der Kleberschicht ist weniger wahrscheinlich, da sonst auch ein Verlust von Stärkemehl unvermeidlich wäre. Wer alle Teile des Kornes für unentbehrlich zur Ernährung hält, kann sonach das entschälte Korn nicht mehr als Vollkorn betrachten, da Salze und Eiweiß in nicht unerheblichem Maße abfallen.

Für tierische Zwecke kann man sagen, daß solche Schälkleie immer noch wertvoll sein muß, da sie reich an Eiweiß ist. Man könnte ja versuchen, hierüber aus den oben gegebenen Zahlen eine Berechnung der Zusammensetzung durch Kleie zu machen; man muß nur bedenken, daß

man nicht exakte Zahlen erhalten wird, weil sich ja alle analytischen Fehler auf die 5·5 Teile Kleieabfall häufen.[1]

B.

Aus dem gereinigten, d. h. geschälten Korn wurde, wie erwähnt, zweierlei Mehl hergestellt:

a) Mehl, welches aus 100 Teilen Korn 75 Teile lieferte,

b) Mehl, welches aus 100 Teilen Korn 94 Teile lieferte.

Bei letzterem waren die entfetteten Keimlinge wieder hinzugemengt worden; bei dieser Prozedur haben sich also bei a 25 Teile Kleie ergeben bei b nur der oben genannte Schälabfall nach Auslese des Keimlings. Aus den beiden Mehlsorten wurden die Versuchsbrote hergestellt. Tabelle S. 290 gibt die analytischen Werte für das Mehl und das daraus hergestellte Brot.

Die analytischen Ergebnisse zeigen zwischen Mehl und Brot nur Unterschiede, die innerhalb zufälliger Abweichungen der Proben gelegen sind, mit Ausnahme des Fettes. Es ist bekannt, daß die Ätherextraktmenge aus Brot stets zu klein ausfällt, während Mehl leicht zu extrahieren ist. Man wird daher für das Brot richtiger die Menge des Ätherextraktes des Mehles benutzen, falls es nötig sein sollte. Übrigens spielt das „Fett" hier ja eigentlich keine Rolle.

Die Kleie, welche abfällt, wenn man statt auf 94 Prozent nur auf 75 Prozent ausmahlt, ist natürlich ganz anders zusammengesetzt wie die Schälkleie, die in dem Abschnitt A näher betrachtet wurde. Ihre Berechnung wird später durchgeführt werden. Wir werden sehen, daß diese Kleie bis 61·6 Prozent Stärke einschließt, während die Schälkleie, praktisch betrachtet, stärkefrei war. Daraus ergibt sich, was ich schon öfter betont habe, daß es sinnlos ist, von einer Verdaulichkeit der Kleie beim Menschen zu reden, wenn man nicht den konkreten Fall genauer kennt. Bisher hat man fast ausnahmslos die Beschaffenheit der Kleie hinsichtlich ihres Nährwertes ganz unbeachtet gelassen.

Auch der Prozentsatz der Ausmahlung genügt nicht zur Charakteri-

---

[1] Man erhält für diese Schälkleie etwa:

3·82	Prozent	Asche
3·27	„	N
38·30	„	Pentosan
55·20	„	Zellmembran
447·30	Kalorien.	

Vgl. auch die Analysen der Schälkleie S. 277 nach direkter Untersuchung dieses Abfalles.

sierung der Kleie; es ist einleuchtend, daß eine Kleie, welche bei einer Ausmahlung auf 90 Prozent entsteht, anders zusammengesetzt ist wie eine Kleie, welche aus 5 Prozent Schälabfall und 5 Prozent Mehlkleie sich bildet.

Für eine zutreffende Beurteilung eines Brotes kann man sich in Zukunft nur an die direkte Analyse mit Feststellung der Zellmembranmenge und ihrer Eigenschaften verlassen.

Die Ausnützung des Brotes.

A. Brot aus Mehl von 75 Prozent Ausmahlung.

Eine Ausmahlung, welche im allgemeinen recht häufig durchgeführt wurde, ist die, welche 70 bis 75 Prozent Mehl aus dem Korn liefert.

Roolfs. Klopfer-Roggen 0 bis 75.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot		Harn		Kot		
			frisch	N	ccm	N	Zeit	frisch	trocken
8. XII.		Gemischte Kost					3^{30} N.	200	50
9. XII.	63·5	1233 g Brot							
		20 g Kaffee							
		2 l Wasser	1233	11·82	1260	9·6			
10. XII.		1258 g Brot							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1259	12·11	2140	7·4	2^{00} N.	400	105
11. XII.	63·0	1380 g Brot							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1389	13·33	1520	6·6	4^{30} N.	110	25
12. XII.		1425 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1445	13·87	1600	6·7	8^{00} V.	535	130
13. XII.		1380 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1399	13·43	1660	4·4	7^{30} V.	560	125
14. XII.		1220 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1237	11·87	1960	6·6	4^{00} N.	370	95
15. XII.	62·5	1240 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1257	12·06	1620	4·7	7^{30} N.	490	105
16. XII.		Mittel =	1317				8^{00} V.	410	50

= 836·7 g lufttrocken 635 g
= 816·2 g Trockensubstanz gepulvert 650 g
= 92·5 g pro Tag
= 84·9 g Trockensubstanz

1385 g Brot frisch = 880 g lufttrocken zur Analyse
= 63·53 Prozent Trockensubstanz
= 61·97 g Trockensubstanz.

Kollmann. Klopfer-Roggen. Roggen 0 bis 75.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot		Harn		Kot		
			frisch	N	ccm	N	Zeit	frisch	trocken
8. XII.		Gemischte Kost					8^{00} V.	157	32
9. XII.	53·5	1183 g Brot							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1183	11·36	940	8·2	3^{30} N.	120	30
10. XII.		1163 g Brot							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1164	11·17	960	7·7	7^{30} V.	360	75
11. XII.		1265 g Brot							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1274	12·23	1860	7·9	7^{30} V.	350	65
12. XII.		1230 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1249	12·02	1680	7·3	7^{30} V.	330	65
13. XII.		1350 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1373	13·18	1380	7·0	7^{30} V.	330	70
							4^{00} N.	250	50
14. XII.		1170 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1189	11·41	1580	7·7	7^{30} V.	305	60
15. XII.	53·5	1110 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1119	10·84	1560	7·6	7^{30} V.	235	55
							7^{30} V.	255	60

Mittel = 1221 g | 530
= 769·7 g lufttrocken | = 560 g
= 749·8 g Trockensubstanz | gepulvert = 80 g pro Tag lufttrocken
= 75·7 g Trockensubstanz lufttrocken
= 71·6 g trocken.

Die eine Vergleichsreihe wurde daher mit Mehl von 75 Prozent Ausmahlung ausgeführt. Solches Mehl liefert ein ausgezeichnetes Brot. Die Versuche wurden an zwei Personen ausgeführt; leider waren die früher verwendeten Soldaten wieder eingezogen worden, so daß eben diese Vergleichsreihe mit Brot zu 75 Prozent Ausmahlung notwendig wurde, um den Unterschied des Brotes mit 94 Prozent Ausmahlung einwandfrei beurteilen zu können.

Als Getränke wurde ein leichter Surrogatkaffee mit etwas Zucker gegeben; die Nährwerte des Kaffees waren so minimal, daß sie ganz außer Betracht gelassen werden. Die Menge des Brotes wurde dem Sättigungsbedürfnis überlassen (s. vorstehende Tabellen).

Man sieht, daß die Nahrungsaufnahme eine sehr gleichmäßige gewesen ist; die eine Person R. nahm etwas an Gewicht ab, die etwas kleinere Versuchsperson K. hielt sich auf dem Gewicht. Vor der Versuchsperiode hatten sich die Personen mit dem erhalten, was sie durch die Kartenkost bekamen, mit einigen Zusätzen, ohne welche ein Auskommen ja unmöglich wäre, obschon es sich um Leute von recht mäßiger Körperbeschaffenheit handelt. Die Gewöhnung an eine einfache vegetabilische Kost war also ausreichend verbürgt. Das Brot ist wenig blähend und gegenüber dem Kriegsbrot von bester Beschaffenheit.

Die analytischen Ergebnisse enthält folgende Tabelle.

Brot. Ausmahlung 0 bis 75 Prozent.

In 100 Teilen Brot ist enthalten:		Kollmann in 749·80 g	Roolfs in 816·20 g
Asche	2·05	15·37	16·73
Organisch	97·95	734·41	799·47
N	1·55[1]	11·62	12·65
Pentosan	7·82	58·65	63·83
Zellmembran	4·54	34·04	37·06
Darin Zellulose	1·64	12·30	13·38
Darin Pentosan	1·45	10·87	11·85
Darin Restsubstanz	1·45	10·87	11·85
Fett	1·66	12·45	13·54
Stärke	75·70[2]	567·70	623·90
Kalorien	418·40	3138·00	3414·80

In 100 Teilen Kot sind:

	Kollmann	Roolfs	Kollmann in 71·6 g	Roolfs in 94·9 g
Asche	7·19	7·32	5·15	6·21
Organisch	92·81	92·68	66·45	78·69
N	4·75	4·75	3·40	4·03
Pentosan	15·91	17·72	11·39	15·05
Zellmembran	31·86	29·63	22·81	25·15
Darin Zellulose	14·36	11·16	10·28	9·47
Darin Pentosan	8·41	7·51	6·73	6·39
Darin Restsubstanz	7·09	10·96	5·80	9·29
Fett	5·07	5·49	3·63	4·66
Stärke	9·43	11·39	6·75	8·15
Kalorien	492·30	507·30	352·50	430·70

Der Trockengehalt des Brotes war 61·97 Prozent. Im ganzen haben die Männer zwischen 3138 und 3415 Kalorien (unberechnet den Zucker) aufgenommen, was sicher zur Deckung des Nahrungsbedürfnisses ausgereicht hat.

---

[1] = 9·68 Protein.

[2] Berechnet.

Der Kot war im allgemeinen wasserarm, über 20 Prozent Trockensubstanz bei Person R.; nur waren die beiden letzten Stühle merklich wasserhaltiger wie die früheren; etwa 30 Prozent des trockenen Kotes bestehen aus unverdauten Zellmembranen.

Die Verluste waren für das Mehl von 75 Prozent Ausmahlung:

	Bei Kollmann	Bei Roolfs	Im Mittel
An N	29·25 Proz.	31·85 Proz.	30·52 Proz.
„ Pentosan	19·41 „	23·57 „	21·49 „
„ Zellmembran	67·00 „	67·86 „	67·43 „
„ Zellulose	85·37 „	70·78 „	78·07 „
„ Pentosan der Zellmembran	61·91 „	54·01 „	57·96 „
„ Restsubstanz	53·36 „	78·39 „	65·87 „
„ Stärke	1·18 „	1·30 „	1·24 „
„ freies Pentosan	9·75 „	16·65 „	13·20 „
„ Kalorien	10·86 „	11·85 „	11·35 „

Von anderen mit Roggenmehl von mir ausgeführten Versuchen stimmt im Zellmembrangehalt keiner genau mit dem vorliegenden überein, wohl aber das Mittel aus Versuch I und III Bd. 1916 S. 193 mit 4·37 Prozent Zellmembran; die Versuchspersonen waren aber andere als die in obigem Versuch. Die Verluste der wichtigen Stoffe waren:

	Frühere Versuche	Vorliegender Versuch
An N	38·70 Proz.	30·52 Proz.
„ Kalorien	10·75 „	11·35 „
„ Zellmembran	51·80 „	67·43 „
„ Stärke	1·35 „	1·24 „

Demnach ist die Resorption des N im vorliegenden Fall etwas günstiger, der Verlust an Zellmembran aber etwas größer, woraus sich auch der geringe Zuwachs an Kalorienverlust erklärt. Von älteren Versuchen mit Roggenmehl mit 25 Prozent Kleieauszug, bei welchen eine fachmännische Mühlenaufsicht ausgeübt wurde, können nur die Experimente von Plagge und Lebbin erwähnt werden. Nach meinen zahlreichen Erfahrungen ist es möglich, aus deren Originalzahlen durch Einsetzen des kalorischen Wertes den Kalorienverlust bei Plagge und Lebbin nachträglich zu berechnen. Es findet sich dann für drei Versuchsreihen

11·80 Prozent	im Mittel	31·92 Prozent	im Mittel
11·04 „	11·5 Prozent und	36·66 „	33·75 Prozent
11·76 „	Kal.-Verlust	32·67 „	N-Verlust,

was mit den oben angegebenen Werten sehr nahe übereinstimmt. Ob sich der Zellmembrangehalt mit meinen Brotsorten ganz deckte, läßt sich freilich nicht sagen.

Der Kot meiner Versuchspersonen bestand zu einem großen Teil aus nachweislichen Resten der zugeführten Nahrung, darunter aber auch aus den Stoffwechselprodukten. Das Nähere bringt für die Kalorienberechnung der Stoffwechselprodukte nachstehende Tabelle.

Brot aus Mehl von 75 Prozent Ausmahlung.

Versuchsperson	Verlust an Kalorien pro Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprod. in Prozent	Von 100 Kal. des Kotes sind Stoffwechselprod.
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
Kollmann	27·67	155·92[1]	19·10	202·69	352·5	149·8	3138·0	4·77	42·38
Roolfs	33·44	199·97[2]	33·38	266·79	430·7	203·9	3414·8	5·97	47·34
								5·37	44·86

Die zwei Versuchspersonen verhielten sich recht übereinstimmend. 5·37 Prozent waren im Mittel an Stoffwechselprodukten erschienen, also (11·35 —5·37) 5·98 Prozent der Nahrung Unverdauliches. Rund 45 Prozent des Kotes waren Stoffwechselprodukte. Diese Werte weichen nicht erheblich von den anderen Versuchen ab, die man wegen des gleichen Zellmembrangehaltes zum Vergleich heranziehen könnte. Ich habe damals 6·69 Prozent Stoffwechselprodukteverlust gefunden, und da die Ausnützung im ganzen etwas besser war, so machten die Stoffwechselprodukte auch relativ etwas mehr aus, nämlich 61·8 Prozent.

Hinsichtlich der Ausscheidung des N und seiner Bedeutung als Stoffwechsel-N und unverdaulichem N-Material gibt nachstehende Tabelle Auskunft.

Brot aus Mehl von 75 Prozent Ausmahlung.

Versuchsperson	In der Zellmembran				N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozent-Verlust an Protein	Verlust des N in Stoffwechselprodukten
	auf 100 Tl. Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	N					
Kollmann	15·03	71·6	10·76	1·72	3·40	1·68	11·62	14·86	49·41
Roolfs	19·68	84·9	16·70	2·66	4·03	1·37	12·65	21·03	33·99
							Mittel	17·74	41·70

[1] Aus Zellmembran 93·52
,, Protein 62·40
155·92

[2] Aus Zellmembran 103·18
,, Protein 96·86
199·97

Von N waren also rund 42 Prozent als Stoffwechselprodukte vorhanden, der Verlust an Eiweiß betrug 17·7 Prozent; auch diese Werte nähern sich den früheren, bei Roggen gefundenen (21·4 Prozent Proteinverlust, 44·3 Prozent des Gesamtkot-N als Stoffwechsel-N).

Die N-Bilanz zeigt uns folgendes:

Roggenbrot von 75 Prozent Ausmahlung.

Kollmann:

Harn	Kot	Gesamt-N	Einfuhr	Bilanz
8·2	3·40	11·60	11·36	−0·24
7·7	—	11·10	11·17	+0·07
7·9	—	11·30	12·23	+0·93
7·3	—	10·70	12·02	+1·32
7·0	—	10·40	13·18	+2·78
7·7	—	11·10	11·41	+0·31
7·6	—	11·00	10·84	−0·16

Die letzten 4 Tage 10·82 N = 67·62 Protein
bei 54 Kilo = 1·252 pro Kilo.

Roolfs:

Harn	Kot	Gesamt-N	Einfuhr	Bilanz
9·6	4·03	13·63	11·82	−1·81
7·4	—	11·43	12·11	+0·68
6·6	—	10·63	13·33	+2·70
6·7	—	10·73	13·87	+3·14
4·4	—	8·43	13·43	+5·00
6·6	—	10·63	11·87	+1·24
4·7	—	8·73	12·06	+3·33

9·63 N = 60·18 Protein, Harn + Kot
bei 63 Kilo = 0·958 pro Kilo.

Beide Versuchspersonen setzten im Durchschnitt N an, wenn auch nicht erheblich, mehr Person R. als K.; das zeigt, daß sie außerhalb der Versuchszeit keine Möglichkeit besaßen, reichlicher N sich zu verschaffen. Sie traten mit relativ geringem N-Bestand in den Versuch ein.

B. Brot aus Mehl von 94 Prozent Ausmahlung (Klopferbrot)

Das Brot sollte man nie ausschließlich nach seiner Zusammensetzung, sondern auch nach seiner Qualität in diätetischer Hinsicht betrachten. Diese Gesichtspunkte sind fast nie in Betracht gezogen worden. Das in der staatlichen Versuchsbäckerei mit dem Mehl nach Klopfers Vermahlungsart hergestellte Brot war ganz ausgezeichnet. Es hat den Wohlgeruch und Geschmack reines Roggengebäckes. Man hat dabei nicht den Eindruck, ein Brot mit nicht allzu wenig Zellmembrangehalt zu genießen, es ist gleichartig, die Farbe lichtbraun. Eine stärkere Gasentwicklung als

sonst habe ich nicht beobachtet; es hält sich gut. Als Gebäck ist es also tadellos. Dies ist um so befremdender, als die Kriegsbrote von gleicher Ausmahlung aller dieser angenehmen Eigenschaften entbehren, man muß daher zugeben, daß man mit demselben Ausgangsmaterial ein viel besseres Brot erhalten kann, als es uns gegenwärtig allgemein geliefert wird. Das Klopferbrot ist schon mehrfach von anderer Seite untersucht worden, so von Boruttau, von R. O. Neumann, von Hindhede. Auf diese Versuche wird später einzugehen sein.

Den Verlauf des 6tägigen Versuches geben die nachstehenden Tabellen:

Kollmann. Klopferbrot.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
16. XII.	53·5	1145 g Brot 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	1145	11·45	1460	7·2			
17. XII.		1280 g Brot 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	1299	12·99	1540	8·0	7^{30} V.	380	90
18. XII.		1305 g Brot 30 g Zucker 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	1328	13·28	1380	7·0	7^{30} V.	380	90
19. XII.	54·5	1310 g Brot 30 g Zucker 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	1333	13·33	1040	6·2	7^{30} V.	345	85
20. XII.		1060 g Brot 30 g Zucker 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	1082	10·82	1720	5·2	7^{00} V.	320	80
21. XII.		890 g Brot 30 g Zucker 30 g Butter 30 g Kaffee 2 l Wasser	918	9·18	1780	5·4	7^{15} V.	350	85
22. XII.		Gemischte Kost	1184·1				7^{30} V.	?	50
									480 g

im Mittel = 727·0 trocken

= 475·00 gepulvert
= 80·00 g lufttrocken
= 76·92 g trocken

1425 g Brot = 875·0 g Trockensubstanz = 61·4 g lufttrocken
= 60·2 g trocken

Roolfs. Klopferbrot.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Zeit	Kot frisch	Kot trocken
16. XII.	62·5	1110 g Brot							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1110	11·10	1380	4·3			
17. XII.		1420 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1424	14·24	1580	6·2	8^{00} V.	460	95
18. XII.		1435 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1444	14·44	1200	5·0	7^{00} V.	600	115
19. XII.	63·5	1385 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1404	14·04	1800	7·2	6^{30} V.	545	135
20. XII.		1035 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1071	10·71	1700	4·5	7^{00} V.	575	115
21. XII.	62·5	935 g Brot							
		30 g Zucker							
		30 g Butter							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	957	9·57	2120	5·2	7^{00} V.	355	115
22. XII.		Gemischte Kost					7^{00} V.	?	50

1235 im Mittel
= 748·3 lufttrocken
= 746·0 Trockensubst.

625 g
= 635·0 g gepulvert
= 105·8 g lufttrocken
= 101·7 g trocken

Das Brot hat 60·2 g Trockensubstanz, etwas weniger als das Brot bei 75 Prozent Ausmahlung, was den üblichen Verhältnissen entspricht. Der Trockengehalt des Kotes war bei Person K. 24·2 Prozent im Mittel, bei R. 22·6 Prozent. Offensichtlich haben die beiden Personen, die sich bei Brot geringerer Ausmahlung ganz gleich verhielten, hier sich unterschieden. R. entleerte vom ersten Tage ab etwas mehr Kot als K., obschon die genossenen Mengen Brot nur wenig different waren. Die Nahrung war diesmal zumeist durch Zulagen von 30 g Butter verbessert worden. Die Kost war, was die Kalorien anlangt, sicher mehr als ausreichend.

Die Einnahmen waren, wie nachfolgende Tabelle zeigt, bei beiden Personen fast dieselben.

Klopferbrot (Vollkorn).

In 100 Teilen Trockensubstanz:

	—	Kollmann in 727·00 g	Roolfs in 746·00 g
Asche	2·81	20·43	20·96
Organisch	97·19	706·57	725·04
N	1·67[1]	12·14	12·45
Pentosan	8·35	60·70	62·28
Zellmembran	6·23	45·28	46·47
Darin Zellulose	2·01	14·61	14·99
Darin Pentosan	2·57	18·68	19·17
Darin Restsubstanz	1·65	11·99	12·31
Fett	2·04	14·82	15·21
Stärke	71·74	521·50	555·00
Kalorien	424·20	3085·20	3164·40

In 100 Teilen Kot:

	Kollmann —	Roolfs —	Kollmann in 76·90 g	Roolfs in 101·70 g
Asche	8·78	6·95	6·75	7·07
Organisch	91·22	93·05	70·25	94·63
N	4·92	5·32	3·80	5·40
Pentosan	15·43	14·95	11·86	15·20
Zellmembran	30·23	30·66	23·24	31·18
Darin Zellulose	11·35	10·92	8·73	11·10
Darin Pentosan	8·53	8·24	6·56	8·38
Darin Restsubstanz	10·35	11·50	7·95	11·68
Fett	7·28	6·12	5·76	4·54
Stärke	6·66	9·17	5·12	9·33
Kalorien	496·10	521·20	381·50	530·00

Reichlich sind Pentosane vertreten, die Zellmembranen machen 45 bis 46 g pro Tag aus. In den Ausscheidungen stimmen die einzelnen Bestandteile bei den beiden Personen prozentual recht nahe überein. Zwischen 30 und 31 Prozent des trockenen Kotes machen die Zellmembranen aus.

Die Verluste der einzelnen Nährstoffe waren folgende:

Von 100 Teilen gingen bei Klopferbrot zu Verlust:

	Bei Kollmann	Bei Roolfs	Im Mittel
An N	31·30	43·37	37·33
„ Pentosan	19·54	24·45	21·99
„ Zellmembran	51·32	68·40	59·86
„ Zellulose	59·75	74·04	66·89
„ Pentosan der Zellmembran	35·12	43·71	39·41
„ Restsubstanz	66·30	94·88	80·59
„ Stärke	0·98	1·68	1·33
„ freien Pentosanen	12·61	15·82	14·21
„ Kalorien	12·62	16·87	14·74

Person R. hatte demnach in allen Teilen eine weniger gute Ausnützung als Person K., vor allem verdaute sie die Zellmembran weniger

[1] = 10·48 Protein.

gut, auch das Protein und die Stärke; auf der geringeren Verdauung dieser drei Gruppen beruht der Unterschied der Ausnützung. Irgend eine Gesundheitsstörung lag nicht vor; die geringere Verdaulichkeit hatte schon am ersten Versuchstag eingesetzt.

Ähnliche Verschiedenheiten finden sich auch in meinen früheren Versuchen, z. B. in jenem mit Roggenbrot[1], als individuelle Unterschiede, die unter verschiedenen Bedingungen wiederkehren. Zahlreiche Beispiele dieser Art enthält auch das Buch von Plagge und Lebbin über die Ausnützung des Soldatenbrotes. Es ist ein Zufall, wenn einem Experimentator Personen in die Hand gespielt werden, die sich völlig gleich in der Ausnützung verhalten. Soweit ich die Ergebnisse übersehe, treten Differenzen am häufigsten hervor, wenn es sich um nicht leicht resorbierbare Nahrungsmittel handelt, besonders also bei zellmembranreichen, wie das gerade bei Brotsorten der Fall ist. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen verschiedenen Experimentatoren liegt in ihren Schwankungen zumeist nicht in der Methode, sondern in der zufälligen Eigentümlichkeit der Versuchsperson.

Mit Rücksicht auf diese Einflüsse lassen sich allgemeingültige Angaben nur machen, falls eine größere Anzahl von Personen gewählt werden kann oder wenn die Unterschiede so bedeutend sind, daß sie die allenfallsigen individuellen Schwankungen übertreffen.

Der Kalorienverlust war bei K. bei Klopferbrot gegenüber dem Brot bei 75 Prozent Ausmahlung nur um 1·1 Prozent gestiegen (10·86 : 11·96), bei R. von 11·85 auf 16·87, also um 5 Prozent.

Zum Vergleich steht ein früher ausgeführter Versuch mit Roggen mit 6·69 Prozent Zellmembran[2] zu Gebote; die Gegenüberstellung mit den vorliegenden Versuchen zeigt:

	6·69 Proz. Zell-membran	6·23 Prozent Zellmembran		
		Kollmann	Roolfs	Mittel
Prozentverlust an N	40·30	32·40	43·40	37·90
„ „ Kalorien	13·50	12·00	16·90	14·40
„ „ Zellmembran	55·70	50·23	68·40	59·30
„ „ Stärke	1·30	0·94	1·68	1·30

Die Mittelwerte weichen nur um weniges voneinander ab; die Ausmahlung bei 6·69 Prozent Zellmembran war damals 82 Prozent gewesen[3], bei 6·23 Prozent des Klopferbrotes aber 94 Prozent. Man sieht daraus, daß die Ausmahlungszahlen allein kein Kriterium für die Beurteilung des Mehles geben.

---

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 165.

[2] *Ebenda.* S. 193.

[3] Kontrolliert durch das staatliche Institut für Getreideverarbeitung.

Ein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Broten von ähnlichem Zellmembrangehalt besteht also nicht, woraus sich ergibt, daß dem Klopferbrot spezifisch eigenartige Ausnützungsverhältnisse eigentlich nicht zukommen.

Was die Stoffwechselprodukte im Kot anlangt, so hat man für die Kalorien folgende Werte.

Klopferbrot.

Versuchsperson	Verlust an Kalorien pro Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprod. in Prozent	Von 100 Kal. des Kotes sind Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
Kollmann	20·13	168·84[1]	20·86	209·83	366·1	156·3	3085·2	5·06	42·69
Roolfs	38·25	235·18[2]	28·37	301·80	530·0	228·2	3164·4	7·21	43·05
								6·13	42·87

Die Menge derselben beträgt 6·13 Prozent der Zufuhr und von der ganzen Masse des Kotes entfallen 42·9 Prozent auf die Stoffwechselprodukte.

Für die N-haltigen Bestandteile zeigt sich nachstehendes.

Klopferbrot.

Versuchsperson	In der Zellmembran				N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozentverlust an Protein	Prozentverlust an N in den Stoffwechselprodukten
	auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	=N					
Kollmann	18·08	73·8	13·34	2·13	3·93	1·80	12·14	17·54	45·86
Roolfs	18·21	101·7	18·51	2·96	5·40	2·44	12·45	23·77	44·44
								20·65	45·12

45·1 Prozent des Gesamt-N des Kotes entfallen auf Stoffwechselprodukte; der Proteinverlust beträgt 20·65 Prozent.

Nun würde noch ein Vergleich der beiden Brotsorten vorzunehmen sein:

	Von 100 Tln. der Zufuhr sind Stoffwechselprodukte	Von 100 Tln. Kot sind Stoffwechselprodukte	Von 100 Tln. N der Zufuhr sind Stoffwechselprodukte	Von 100 Tln. N des Kotes sind Stoffwechselprodukte	Von 100 Tln. N der Zufuhr sind Protein
Klopferbrot	6·13	42·87	17·04	45·12	20·65
75 Prozent Ausmahlung .	5·37	44·86	12·64	41·70	17·74

[1] Aus Zellmembran 91·47
,, Protein 77·37
168·84

[2] Aus Zellmembran 127·83
,, Protein 107·35
235·18

Durch die Vermehrung der Zellmembran von 75 Prozent Ausmahlung (4·54 Prozent) auf 94 Prozent Ausmahlung (6·23 Prozent) ist an sich der Zuwachs an Zellmembran nicht wesentlich gewachsen. Daher sind auch die Ausschläge der Verdaulichkeitsänderung nicht groß. Im Klopferbrot ist die Menge der Stoffwechselprodukte etwas gestiegen, dagegen hat relativ die Menge des Unverdaulichen noch rascher zugenommen, daher ein Sinken des Anteils der Stoffwechselprodukte von 44·86 auf 42·87 Prozent; noch etwas ausgeprägter ist der Unterschied bei der N-Ausscheidung, so daß auch in der Relation (41·7 : 45·12) ein Ansteigen sich findet. Die Proteinausnützung sinkt, weil die N in der Zellmembran zugenommen hat. Somit steht das Ergebnis in wohlverständlichem Zusammenhang.

Die vorliegenden Versuche ergeben auch die Möglichkeit, die Rückwirkung des Zusatzes der „Kleie" näher zu beleuchten. Da bei beiden Versuchspersonen sowohl die Ausnützung des Mehles von 75 Prozent Ausmahlung wie des Klopferbrotes von 94 Prozent Ausmahlung festgestellt wurde, läßt sich der Einfluß der Kleie durch Rechnung annähernd finden. Unter Kleie ist hier nur der Anteil an Mehl gemeint, welcher in einem Brot aus 94 Prozent Ausmahlung mehr vorhanden ist als in einem solchen von 75 Prozent Ausmahlung.

Zweck der Berechnung ist die Erledigung der Frage, in welchem Maße dieses Kleiemehl im allgemeinen ausgenützt wurde oder ob es einfach unausgenützt blieb oder etwa sogar die Ausnützung des Mehles von 75 Prozent Ausmahlung gestört hat. Für die eine Person K. kann man auch ohne alle weitere Rechnung die Antwort geben, die Ausmahlungsquote 75 Prozent bis 94 Prozent ist gut ausgenützt worden; für die Person R. läßt sich auch ohne weiteres sagen, eine Störung der Verdauung bis zu einem Schaden der Gesamtresorption liegt sicher nicht vor.

Eine Berechnung der Verdaulichkeit dieses Kleiemehles könnte man etwa in folgender Weise durchführen:

Bei der Ausmahlung wurde geliefert 94·42prozentiges Mehl bzw. 75prozentiges Mehl. In dem Mehl von 94 Prozent Ausmahlung sind enthalten 75 Teile = 79·4 Prozent Mehl von 75 Prozent Ausmahlung, 20·6 Prozent sind also zu weiterer Behandlung abgeschieden worden und nachher wieder dem Vollkornbrot beigemischt worden. Man kann aus der Analyse des Brotes von 94 Prozent Ausmahlung und von 75 Prozent Ausmahlung also annähernd entnehmen, wie die Art des Mehles gewesen ist, welches für die Feinmahlung der Kleie gedient hat, vorausgesetzt, daß sich beim Backprozeß keine wesentlichen Veränderungen ergeben. Die Berechnung ergibt folgendes:

	100 Teile Vollkornbrot	79·4 Tle. Brot aus Mehl von 75 Prozent Ausmahlung	Kleie 20·5 g
Asche	2·81	1·63	1·18
Organisch	97·19	77·80	19·39
N	1·67[1]	1·25[2]	0·44
Pentosan	8·38	6·31	2·07
Zellmembran	6·23	3·60	2·63
Zellulose	2·01	1·36	0·72
Pentosan der Zellmembran	2·57	1·15	1·42
Restsubstanz	1·65	1·06	0·50
Fett	2·02	1·31	0·71
Stärke	71·74	61·10	11·16
Kalorien	424·20	332·20	92·00

Aus Stab 3 kann man mit dem Vorbehalt eines Näherungswertes die Zusammensetzung des Mehles zwischen 94 und 74 Prozent Ausmahlung wie folgt annehmen:

In 100 Teilen:	
Asche	5·72
Organisch	94·28
N	2·13[3]
Pentosan	10·95
Zellmembran	12·76
Zellulose	3·45
Pentosan der Zellmembran	6·89
Fett	3·45
Stärke	61·61
Kalorien	446·60

Das Klopfermehl enthält also ein Mehl von 75 Prozent Ausmahlung, aber nicht einen Zusatz von Kleie, sondern ein Mehl, das in seinem Zellmembrangehalt etwas über den Wert eines richtigen Vollkorns, in dem ich bis 11 Prozent Zellmembran in einem anderen Falle gefunden habe, hinausgeht.

Gehen wir zunächst auf das Ergebnis bei der Versuchsperson K. ein, so nahm diese 727 g Brot (trocken) im Tag auf, nach den oben gegebenen Verhältnissen bestehen diese 727 g aus 577·3 g Brot von 75 Prozent Ausmahlung und 150 Teilen eines Mehles oben stehender Zusammensetzung. Berechnet man den Verlust im Kot für 577·3 g Brot von 75 Prozent Ausmahlung und zieht diesen Wert von dem wirklich beobachteten Kotabfall bei 727 g Klopferbrotaufnahme ab, so bleibt als Differenz ein Zuwachs, der aus den 150 g Brot aus dem Mehl erhöhter Ausmahlung besteht.

---

[1] = 10·46 Protein.

[2] = 7·69 Protein.

[3] = 13·30 Protein.

Die Gesamtkotausscheidung bei Klopferbrot war 71·6 g pro Tag
Für 577·3 g[1] Brot von 75 Prozent Ausmahlung
hat man . . . . 55·0 g „ „

Also für 150 g Mehl der Ausmahlung 75 bis 94 Proz. 16·6 g pro Tag

Es ist also der überwiegende Teil dieses Mehles resorbiert worden.

727 g Klopferbrot . . . . 3085·2 Kalorien
577 g Brot von 75 Prozent Ausmahlung . . . . 2413·0 „

150 g Mehl von 75 bis 94 Prozent Ausmahlung 672·2 Kalorien
1 g dieses Mehles bzw. Brotes = 4·48 Kalorien.

In den Ausscheidungen sind pro Tag:

	Asche	N	Pentosan	Zellmembran	Zellulose	Stärke	Kalorien
für 727 g Klopfermehl	6·75	3·80	11·86	23·24	8·73	5·12	381·5
„ 577 g Mehl 75prozentiger Ausmahlung	3·96	2·61	8·74	17·52	7·89	5·18	270·7
Differenz:	2·79	1·29	3·12	5·72	0·84	—	110·8

Daraus würden sich ergeben als Verlust des Mehles von 75 bis 94 Prozent Ausmahlung:

32·5 Prozent für Asche
16·5 „ „ Kalorien
40·4 „ „ N
29·6 „ „ Zellmembran
16·2 „ „ Zellulose
0 „ „ Stärke

Diese Werte sind zweifellos zu günstig, wie man besonders aus dem Verhalten der Zellmembran und Zellulose ersieht, denn diese Substanzen können in dem Mehl zwischen 75 und 94 Prozent unmöglich besser verdaulich sein wie im Brot aus Mehl von 75 Prozent Ausmahlung. Das Ergebnis zeigt nur, daß die Verdaulichkeit in beiden Versuchen durch die unvermeidlichen Schwankungen solcher Experimente das Resultat etwas verschoben haben. Ein geringer Unterschied von 1 bis 2 Prozent der Gesamtverdaulichkeit übt in dieser Differenzrechnung einen wesentlichen Einfluß aus.

Die zweite Versuchsperson R. verhielt sich etwas anders, sie nützt das Klopferbrot um mehrere Prozente schlechter aus wie Person K. Wie

[1] Verlust 9·54 Prozent der Trockensubstanz.

verhalten sich bei dieser Person die Ausscheidungen, welche auf die Kleie entfallen? Die Versuchsperson hatte 746 g Brot (Klopfer) aufgenommen, in welchen 592 Teile Brot von 75 Prozent Ausmahlung vorhanden sind. Die direkt beobachteten Ausscheidungen bei Vollkorn und die berechneten für 592 g 75prozentiges Brot sind nachstehend zusammengestellt.

Asche	N	Pentosan	Zellmembran	Zellulose	Stärke	Kalorien	
7·07 4·51	5·40 2·92	15·20 10·91	31·18 18·25	11·10 6·87	9·33 7·01	530 312	75 Proz. Kleie
2·56	2·48	4·29	12·93	4·23	2·32	218	—

Die Gesamtkotmenge bei Vollkorn betrug . . . . 101·7 g
Die berechnete für 592 g 75prozentiges Brot . . . . . . 61·6 g
Rest . . 40·1 g

Die Menge der Kleie im Vollkornbrot war 154 g (3·27 g N, 691 Kal., 19·6 g Zellmembran); es ergeben sich folgende Zahlen für die Verluste:

An N . . . . 75·8 Prozent
,, Kalorien . . . . 31·4 ,,
,, Zellmembran . . . . 65·9 ,,
,, Stärke . . . . 2·44 ,,

In diesem Falle hat sich also die Zugabe der Kleie als nicht so ertragreich ergeben, vor allem nicht mit Bezug auf den N, auch nicht mit Bezug auf die Zellmembran; man darf annehmen, daß die höheren Verluste an N jedenfalls mit der geringen Aufschließung der Zellmembran in einigem Zusammenhang stand. Im ganzen genommen zeigt sich aber, daß das Mehl von 75 Prozent Ausmahlung bis 94 Prozent immerhin noch erhebliche Nährwerte geliefert hat, jedenfalls aber keine Störung der sonstigen Verdauung des Mehles von 75 Prozent Ausmahlung herbeiführte.

Aus beiden Versuchen würde sich demnach als Verlust dieser Kleie ableiten lassen:

An Kalorien . . . . 23·9 Prozent
,, N . . . . 58·1 ,,
,, Zellmembran . . . . 47·7 ,,
,, Stärke . . . . 1·16 ,,

Der Mehlanteil von 75 Prozent bis 94 Prozent Ausmahlung dieser Art bringt also noch 19 Prozent mehr an Nährstoff, und wenn auch ein mittlerer Verlust dieser Kleie von 23·9 Prozent der Kalorien nicht gerade

einen günstigen Nährstoff bedeutet, so ist der Gewinn, im allgemeinen betrachtet, immer noch beachtenswert, allerdings muß man, wie die Ungleichheiten beider Personen zeigen, auch mit einem minderen Erträgnis der Ausnützung rechnen. Immer wieder kehrt in den populären Schriften die Behauptung wieder, hohe Ausmahlung sei schon wegen des steigenden N-Gehaltes des Mehles erwünscht, die Antwort des Experimentes zeigt, daß trotz feiner Vermahlung ein Verlust von 58·6 Prozent entstanden ist. Wenn man daneben Ausnützungsverluste für Eiweiß von 2·5 Prozent bei anderen Nahrungsmitteln sieht, so bedarf es keiner weiteren Begründung, einen Verlust von fast 60 Prozent als außerordentlich groß zu bezeichnen. Die Zellmembran wurde dabei sogar noch relativ gut resorbiert, also viele Kleiezellen aufgeschlossen; trotzdem bleibt die Resorption so ungünstig, es liegt das eben in der Natur der Zellmembranumhüllung des Kleieeiweißes, neben der Mehrung der Stoffwechselprodukte.

Kurz zusammengefaßt ist also das Klopferbrot in seiner Herstellung tadellos, sowohl was die Art der Vermahlung anlangt, wie auch hinsichtlich der Backweise, aber es ist kein Vollkornbrot im wahren Sinne des Wortes, sondern weitgehend dekortiziert. Es entspricht in seinem Zellmembrangehalt etwa einem auf 80 Prozent ausgemahlenen Mehl der sonst üblichen Herstellung. Durch die geschickte Ausmahlung wird eine Ausbeute an Mehl, wie ich näher ausgeführt habe, von 94 Prozent erreicht. Es liegt mir fern, zu behaupten, daß allemal der Gewinn an Mehl gegenüber der einfachen Vermahlung gleichgroß sein müßte wie gefunden wurde. Offensichtlich ist aber, falls das mittlere Ergebnis der 94prozentigen Ausmahlung immer dasselbe bleibt, damit ein wesentlicher Vorteil im Gewinn an Nährstoffen zu erreichen. Für die Anhänger der wirklichen Vollkornbrote allerdings würde es als vollwertig nicht gelten können. Die vielfach schon bemerkte, von R. O. Neumann besonders hervorgehobene Sonderstellung des Klopferbrotes hat damit seine Erklärung gefunden.

Protokolle über die Probevermahlung in der Vollkornmühle Dr. Volkmar Klopfer, Dresden-Leubnitz.

In der Dr. Klopferschen Vollkornmühle dienen der Reinigung des Getreides ein Tarar mit Magnet, ein Trieur mit Nachtrieur, sowie zwei Schäl- und Bürstmaschinen, also die üblichen Vorrichtungen, die in jeder neuzeitlichen Mühle zu finden sind. Zur Ausführung des Mahlprozesses werden zwecks Zerkleinerung des Mahlgutes acht Schlagmühlen verwendet, und zwar vom Typ der Holzhausenschen Aufschließmaschine „Rekord“. Die Sondereigenschaften, welche das Dr. Klopfersche Vollkornmehl anderen Mehlen gegenüber hat, soll u. a. durch die Benutzung von Schlagmühlen

erzielt werden. Zwecks Sichtung des Mahlgutes folgt jeder der genannten Schlagmühlen eine Zentrifugalsichtmaschine. Die Art der Bespannung dieser Sichter ist so gewählt, daß sie der Verleihung der Sondereigenschaften des Dr. Klopferschen Vollkornmehles dienlich sind. Die Bespannungen laufen parallel mit den feiner werdenden Schlitzlochungen der Schlagmühlen.

Das Dr. Klopfersche Ziel bei der Herstellung seines Vollkornmehles ist folgendes:

1. Der Mehlkern des Getreidekornes soll dem Mahlprozeß möglichst schnell entzogen werden, um eine Schädigung der Backfähigkeit durch Schliffigmahlen zu verhindern. Er soll daher in möglichst griffiger Form und frei von Schalenteilen am Beginn des Mahlprozesses fallen.

2. Die Schalenteile des Getreidekornes sollen im Mahlprozeß bis zum Schluß zurückgehalten werden. Sie werden dabei möglichst fein zermahlen, so daß sie in dem endgültigen Vollkornmehl sich in mehlfeiner bzw. feindunstiger Form finden.

Die Sondereigenschaften des Dr. Klopferschen Vollkornmehles sind mithin ein als Vollkornmehl verhältnismäßig fein gemahlenes Mehl mit griffiger Beschaffenheit des Mehlkörpers und feiner Mahlung der Schalenteile.

Die Schlagmühlen sind mit Rosten versehen, welche siebartig gelocht sind. Das Mahlgut bleibt den Mahlscheiben so lange ausgesetzt, bis es den Zerkleinerungsgrad erreicht hat, der ein Entweichen durch die Rosten ermöglicht. In jeder Passage wird nun der weichere Mehlkörper des Getreidekornes stärker zerkleinert als die zäheren Schalenteile. In jeder Stufe des Mahlprozesses sind daher auch die Schalenteile, welche die Rosten passieren, gröber als der größte Anteil der Mehlkörperteile. Durch geeignete Sichtung mittels Sichtmaschinen lassen sich daher die Schalenteile von den feineren Mehlkörperteilen trennen.

Durch die anfangs grobe Schlitzlochung der Schlagmühlrosten und durch die entsprechenden, ebenfalls anfangs groben Bespannungen der Sichtmaschinen wird gleich zu Anfang der größte Teil des Mehlkörpers in griffiges Mehl verwandelt und dem weiteren Prozeß entzogen. Der immer schalenhaltiger werdende Rest muß in den folgenden Passagen feinere Rosten und Sichterbespannungen passieren, so daß es tatsächlich erreicht wird, daß die Hauptmenge der Schalenteile des Getreidekornes am feinsten zermahlen wird.

Die große Wichtigkeit der Bespannung der Sichtmaschinen tritt hierbei zutage. Die gewählte Sichterbespannung ist für das Dr. Klopfersche Vollkornmehl wesentlich; sie gewährleistet, verglichen mit den üblichen Handelsvollkornmehlen, ein Produkt feinerer Mahlung.

Die Vermahlung erfolgt in sechs Passagen in der Weise, daß der 1. Passage drei Mühlen und den folgenden Passagen je eine Mühle dient. Der Sichtübergang der 6. Passage läuft zur 4. Passage zurück, so daß dadurch ein Kreislauf erfolgt zwischen der 4., 5. und 6. Passage, welche das restlose Vermahlen des gereinigten Roggens verbürgen soll. Die Rosten der 1. Passage sind mit 1·5 mm Schlitzlochung am gröbsten. Es folgen die mittleren Passagen mit 0·75 mm, während die Rosten der letzten Passagen 0·5 mm Schlitzlochung aufweisen. Hierzu parallel sind die Sichterbespan-

nungen am Anfang Seidengaze Nr. 4 in den mittleren Passagen Nr. 4, 5, 6 und zum Schluß Nr. 6 und 7.

Die im dortigen Auftrage durchgeführte Vermahlung erfolgte mit 32 Sack Roggen, welche 2468·5 kg netto enthielten. Der Roggen war von normaler gesunder Beschaffenheit und besaß ein Hektolitergewicht von 74·6 kg bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 14·70 Prozent. Der Aschengehalt des Roggens betrug 1·83 Prozent in Trockensubstanz. Der fertig gereinigte Roggen hatte ein Hektolitergewicht von 79·40 kg bei 14·66 Prozent Feuchtigkeitsgehalt, der Aschengehalt war auf 1·73 Prozent gesunken. Dieser gereinigte Roggen wurde im nachfolgenden Mahlprozeß restlos in Mehl verwandelt, so daß dieses Mehl theoretisch ebenfalls einen Aschengehalt von 1·73 Prozent haben müßte.

Der Reinigungsabfall betrug 5·5 Prozent. Es ist zu berücksichtigen, daß die in dem Reinigungsabfall enthaltenen Keime durch Putzen und Sichten für sich gewonnen werden und nach erfolgter Entbitterung im fein gemahlenen Zustande dem Vollkornmehl wieder zugesetzt werden. Die Menge der gewonnenen Keime beträgt nach Angabe der Mühle im Durchschnitt 1 Prozent, auf den ungereinigten Roggen gerechnet, so daß infolgedessen der Reinigungsabfall nur auf 4·5 Prozent zu bewerten ist. Bei der Vermahlung des Roggens zu Mehl wurden die fertigen Produkte jeder Passage für sich abgefangen. Die technischen Einrichtungen der Mühle bedingen es, daß, da die fertigen Erzeugnisse der 1. und 2. Passage infolge nachträglicher Änderung in eine gemeinsame Sammelschnecke laufen, diese beiden Passagen gemeinsam mittels eines Absackstutzens angefangen werden müssen. Infolgedessen wurden getrennt abgesackt aus den sechs Passagen nachfolgende fünf Mehle:

Mehl der	Menge kg	Asche i. Tr. Prozent	Prozentmengen Prozent	Ausbeutegrenzen
1. und 2. Passage	1608·3	1·19	65·15	0 bis 65·15
3. „	415·8	2·23	16·85	65·15 „ 82·00
4. „	228·3	3·78	9·25	82·00 „ 91·25
5. „	57·8	4·71	2·34	91·25 „ 93·59
6. „	20·3	5·48	0·83	93·59 „ 94·42
			94·42	
Dazu gemahlene Keime 1:99 .			1·00	
		Etwa .	95·42	

Durch Mischen der sechs Passagen ergibt sich also eine Ausbeute von 94·32 Prozent. Rechnerisch besitzt dieses Gesamtmehl einen Aschengehalt in der Trockensubstanz von 1·76 Prozent. Es sollte, da es ja gereinigtem Roggen entspricht, einen Aschengehalt von 1·73 Prozent besitzen. Mithin ist genügende Übereinstimmung vorhanden und das Mehl als restlos vermahlenes Dr. Klopfersches Vollkornmehl anzuerkennen. Dem Mehl wurden noch fein gemahlene entbitterte Roggenkeime wie üblich im Verhältnis 1:99 zugemischt, wodurch der Aschengehalt dieser Mischung etwas erhöht und durch Analyse auf 1·77 Prozent ermittelt wurde.

Der Verlust durch Verdunstung und Verstaubung konnte nicht zuverlässig ermittelt werden. Ein Versuch in dieser Beziehung führte zu keinem normalen Ergebnis. Der endgültige Versuch wurde in der Weise durchgeführt, daß die Mühle zunächst von der Roggenpost, aus der der Versuchsroggen entnommen worden ist, 12 Stunden hintereinander vermahlte, dann setzte der Versuch ohne Unterbrechung ein. Es ist mit einem mittleren Verlust von 2 Prozent zu rechnen, der sich aus $^1/_2$ Prozent Reinigungsverlust und $1^1/_2$ Prozent Mahlverlust zusammensetzen dürfte. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für das fertig gemischte Dr. Klopfersche Vollkornmehl eine Ausbeute von rund 94 Prozent.

Es folgen anbei Muster:

1. des Roggens ungereinigt,
2. des Roggens gereinigt,
3. des Dr. Klopferschen Vollkornmehles 0 bis 94 Prozent,
4. des Vordermehles 0 bis 75 Prozent,
5. der Roggenkeime, entbittert und gemahlen.

Von den Mehlen unter 3 und 4 stehen für Ausnützungsversuche je etwa 30 kg zur Verfügung.

gez. Buchwald.

Hindhedes Untersuchungen über Klopferbrot und Kleie.

In einem Artikel[1] hat Hindhede sich auch über das Klopferbrot ausgesprochen. Schon 1913 hatte Boruttau[2] Versuche über das Klopferbrot ausgeführt, wobei auf die feine Vermahlung der Kleie bei dieser Brotart hingewiesen wurde, und er hat Hindhede ersucht, das gleiche Brot auch zu prüfen.

Bei solchen Vergleichen muß man aber bedenken, daß sie in Übereinstimmung und Verschiedenheit nicht allzu viel beweisen, weil man bei einer Handelsware natürlich nie sagen kann, ob die Ware jedesmal gleich beschaffen war. Der an zwei Personen von Hindhede ausgeführte Ausnützungsversuch bietet an und für sich dasselbe Interesse wie der Versuch von Boruttau, ohne daß das eine oder das andere Experiment als ein allgemein entscheidendes anzusehen wäre.

Hindhede verfütterte an seine beiden Versuchspersonen, die seit Jahren dieselben geblieben sind, in einem Falle etwa 1016 g, im anderen 766 g Brot täglich unter Zugabe von 158 g und 9·83 g Margarine täglich, im ersten Falle also ungemein viel Fett, d. h. an einem Tage so viel als jetzt eine Person in 14 Tagen verzehrt. Hindhede sagt, das Ergebnis sei außerordentlich günstig gewesen, weit besser als mit geschrotetem Vollkornbrot, etwa so gut wie bei halbgesiebtem Roggenmehlbrot. Da Hind-

---

[1] Das Ganzkornbrot. *Zeitschr. f. phys. u. diät. Therapie.* 1914. S. 287.

[2] *Ebenda.* 1913.

hede in die Ausnützung auch das Fett der Nahrung mit hineinrechnet, was unzulässig ist, werden die Versuche etwas unübersichtlich. Ich will auch, da Hindhede noch nicht zur Kalorienberechnung übergegangen war, die Ergebnisse seiner Versuche auf Grund meiner Versuchswerte umrechnen; dann wäre unter Beiseitelassung des Fettes der Verlust bei Hindhede:

Person F. M.	10·94	Prozent der Kalorien	und	24·20	Prozent des N
,, H. M.	10·40	,, ,, ,,	,,	29·90	,, ,, ,,

bei meinem Versuch wurde erhalten:

Person K.	11·96	Prozent der Kalorien	und	32·37	Prozent des N
,, R.	16·87	,, ,, ,,	,,	43·37	,, ,, ,,

Meine Person K. stimmt also — unter der Voraussetzung, daß die Mehle gleich beschaffen waren — mit der einen Person H. M. bei Hindhede überein. Etwas ganz Auffallendes aber ist der geringe N-Verlust bei F. M. Hindhedes, wie er nie bei so hochgradig ausgemahlenem Roggenmehl sonst beobachtet worden ist. Meine Person R. ertrug das Brot aber keineswegs so gut wie K., vor allem weil die Zellmembranverdauung versagte, ein Vorkommnis, für das sich auch andere Beispiele finden lassen, wenn man mehrere Personen in den Kreis der Versuche zieht.

Hindhede nennt den unmittelbaren errechneten Verlust den ,,scheinbaren". Gegen dieses Wort muß Verwahrung eingelegt werden. Man kann hier nicht von scheinbaren und wirklichen Verlusten reden. Wenn man den Verlust der Zellmembran, den der Stärke, den des Pentosans, den der Zellulose usw. bestimmt, so sind das keine scheinbaren, sondern ganz reale Größen; bei der Zellmembran und der Zellulose kann man ja die Objekte, wie sie sind, direkt darstellen. Wieso das aber nur scheinbare Dinge sein sollen, ist völlig unverständlich. Hindhede berücksichtigt dies also nicht, er will aber das Unverdaute von den Stoffwechselprodukten in der Art trennen, wie ich das 1877 versucht hatte, indem ich eine gut resorbierbare Pflanzenkost, die N-frei war, verabreichte, um zu sehen wieviel N auf die Verdauungssäfte kämen. Für die neuen Versuche habe ich ja einen anderen Weg eingeschlagen. Hindhede rechnet also approximativ eine gewisse, aber nicht begründete Menge von Substanzen als Stoffwechselprodukt, d. h. 18 g Trockensubstanz, 1 g N und 5 g ,,Rest", was eine Willkür ist, da in den verschiedenen Versuchen die Verhältnisse ganz verschieden liegen. Er sagt ,,rechnen wir wie vorher", wo dies vorher aber gewesen ist, läßt sich nicht feststellen. Für den Ersatz von Kalorien oder des N hat dieser Verlust erst recht Bedeutung; was verloren ist, muß in der Ernährung ersetzt werden. Das Wort ,,scheinbar"

ist also fallen zu lassen, man kann aber in jedem einzelnen Falle den Verlust der einzelnen Nährstoffe und der Stoffwechselprodukte für sich feststellen, wie ich gezeigt habe. Der „wirkliche" Verlust Hindhedes hat also keine „wirklichen" Unterlagen und die darauf sich gründenden Angaben haben heute keine Berechtigung mehr.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist unter dem Titel „Die Verdaulichkeit der Kleie"[1] eine weitere gefolgt, in der das Klopferbrot nochmals erscheint und mit zwei anderen Versuchen einen Ausnützungsversuch mit einem Vollkornmehl und einer 75prozentigen Aussiebung desselben Mehles die Unterlage zu vielen Berechnungen gibt.

Zur Richtigstellung möchte ich bemerken, daß von mir[2] ein Artikel über Pentosan und Zellhüllen des Brotgetreides veröffentlicht wurde, der die nähere Zusammensetzung der Kleiezellmembran selbst, das Verhältnis der Pentosanverbindung, Beschaffenheit des Mehles, und ein zweiter Artikel über die Ausnützbarkeit der Zellmembran der Kleie erschienen ist, der die Verdauung der Zellmembran schildert, denn darum handelt es sich im wesentlichen. Die Kleiezellmembran erwies sich als wesentlich leichter verdaulich als Birkenholz. Am schlechtesten wird die Zellulose resorbiert, etwas besser die Pentosane der Zellmembran. Eine stärkere Mehrung der Stoffwechselprodukte war nicht nachzuweisen. In den Harn gehen nur kleine Mengen Pentosan über, obschon durch Kleie enorme Mengen zugeführt werden können. Je nach dem Ausmahlungsgrad sind sehr wechselnde Mengen von Kleiezellmembranen in der sogenannten Kleie, dem Gemische von Mehl und Zellmembran. Als Maximum fand ich in einem Vollkornmehl bis 11 Prozent (reine) Zellmembran.

In seiner Zusammenstellung erwähnt Hindhede nur die Versuche von Plagge und Lebbin (1897), die allerdings die einzigen sind, bei welchen ein aus Kleie direkt hergestelltes Brot vom Menschen verzehrt wurde; die beiden Autoren werden zumeist durch Hindhedes Kritik hart vorgenommen.

„Den Grund zu den schlechten Resultaten," sagt Hindhede von den Versuchen von Plagge und Lebbin[3], „bei sozusagen allen Brotversuchen dieser Verfasser habe ich früher zu erklären versucht durch den gleichzeitigen Bierverbrauch (2 Liter), die ungünstige Abgrenzung und die kurzen Versuche." Was den ersten Punkt anlangt, so rührt dieser Gedanke gar nicht von Hindhede her, sondern von Bunge; seine Unrichtigkeit ist längst abgetan. Auch meinen Personen, die ich seinerzeit

---

[1] *Skand. Archiv.* 1916. S. 59.

[2] *Dies Archiv.* 1915. S. 120ff.

[3] *Skand. Archiv.* 1916. S. 68.

in München untersucht hatte, mußte ich die lokale Konzession eines mäßigen Biergenusses gestatten, es hat sich aber bei Wiederholung mancher Versuche auch ohne jeden Alkoholgenuß herausgestellt, daß dadurch die Ausnützung nicht im geringsten geändert wurde. Ebenso unrichtig ist, daß mit der Länge der Dauer die Ausnützungsergebnisse besser werden. Bei ordnungsgemäßer Abgrenzung sind störende Fehler nicht zu erwarten.

Die Dauer der Versuche hängt eben von dem Einzelfalle ab, die Abgrenzung von der richtigen Technik. An und für sich hat man also gar keinen Grund, die Versuche von Plagge und Lebbin, wenn sie etwa einmal von Hindhedes anderweitigen Versuchen abweichen sollten, als unverwertbar zu bezeichnen. Ob und inwieweit die Versuche von Plagge und Lebbin wirklich in den Resultaten von anderen abweichend sind, will ich später besprechen und hier mich nur auf die Bemerkung beschränken, daß die Gründe von Übereinstimmung und Abweichung ganz andere sind, als Hindhede gemeint hat.

Plagge und Lebbin haben also ihre Versuche mit Handelskleie gemacht, ob Weizen- oder Roggenkleie, ist nicht angegeben, vielleicht lag eine Mischung beider vor. Im allgemeinen wird die Kleie der Kornrest nach einer 70- bis 75prozentigen Ausmahlung gewesen sein.

Diese Versuche hat Hindhede nicht nachgemacht, sondern er hat die Verdaulichkeit so festgestellt, wie ich es früher getan hatte. Er verglich einen Versuch mit Vollkornbrot mit einem zweiten Versuch mit halbgesiebtem Mehl aus demselben Vollkorn, also etwa 98 Prozent Ausmahlung gegen 70 Prozent Ausmahlung. Durch Subtraktion erhält er dann die betreffenden Werte für seine Kleie.

Auch dieses Verfahren ist wieder nicht neu, denn ich habe es schon 1883 in einer Abhandlung über den Wert der Weizenkleie angewandt. Ich habe damals neben eingehenden Angaben über die Resorption der Kleieanteile festgestellt, daß sowohl vom N der Kleie wie von den Kohlehydraten resorbiert worden war, daß die Zellmembran zerfällt und eine Störung der Resorption der übrigen Brotbestandteile nicht einzutreten braucht. Dies ist durch die neuen Versuche des Jahres 1915 im einzelnen von mir bestätigt worden.

Hindhede erwähnt von alledem nichts. Ich habe schon bei verschiedener Veranlassung diese literarischen Unterlassungssünden Hindhedes gebührend in die Öffentlichkeit gebracht.

Aus seinem Versuchspaar Vollkorn geschrotet und halbgesiebt berechnet er für seine beiden Versuchspersonen einen Verlust an Trockensubstanz 45 Prozent, an N 60 Prozent, während Plagge und Lebbin 42·35 und 56·2 Prozent fanden.

Diese Übereinstimmung verdient insofern Beachtung, als hier durch Hindhede vollkommen bestätigt wird, was Plagge und Lebbin schon 1897 angegeben haben. Es darf auch nicht vergessen werden, daß Poggiale schon 1850 die Menge der nicht verwertbaren Stoffe der Kleie auf 56 Prozent angegeben hat. Aber die Werte schwanken wie die Ausmahlung. Ich verweise da auch auf meine Ergebnisse bei dem Klopferbrot, auf die Versuche mit 94 Prozent Ausmahlung usw. Hindhede hatte erwartet, daß die Kleieversuche von Plagge und Lebbin eine bessere Ausnützung zeigten, weil ihre Kleie feinst vermahlen war. Im Grunde genommen sind die beiden Versuchsarten grundverschieden; Plagge und Lebbin haben wirklich nur Kleiebrot verzehrt. Hindhede hat aber die Kleie als Bestandteil seines Vollkornbrotes gehabt und, wie man bei Durchsicht der Originalzahlen sieht, überhaupt weniger Kleie pro Tag verzehrt als bei Plagge und Lebbin, wo 327 bis 440 g Trockensubstanz im Tag aufgenommen wurden. Es will aber Hindhede nicht in den Kopf, daß die Feinvermahlung der Kleie bei Plagge und Lebbin sogar keine Erleichterung der Resorption geschaffen haben sollte. Dabei kommt er wieder auf das Klopferbrot, das er jetzt mit seinem Vollkornschrotbrot vergleicht. Er weist nach, daß letzteres viel mehr Kot liefert, also ist der Beweis für die Wirkung der feinen Ausmahlung fertig. Ich habe in der vorhergehenden Abhandlung bewiesen, daß Klopferbrot gar kein Vollkornbrot ist, vielmehr recht mäßige Mengen Zellmembran enthält, daher die gute Ausnützung. Hindhede nimmt also ohne weiteres an, er habe ein Klopferbrot, das feinst vermahlene Vollkornbrot vor sich, „er habe auch in Deutschland Gelegenheit gehabt, sich in die Herstellung hineinzuversetzen“.

Daß Hindhede die ganze Fabrikation gesehen hat und es trotzdem für ein Vollkornbrot hielt, beweist, wie wenig er die sich abspielenden Prozesse richtig zu beurteilen verstand. Da es sich also überhaupt um kein Vollkornbrot handelt, so sind die von Hindhede angestellten Berechnungen und die daraus gezogenen Schlußfolgerungen völlig gegenstandslos, nämlich dahingehend, daß das Klopferbrot die Beweise bringe, daß fein verteilte Kleie leicht resorbierbar sei. Als Ergebnis der Versuche Hindhedes bleibt wesentlich das schon erwähnte Ergebnis, daß sein Kleieversuch eine etwas schlechtere Ausnützung liefert wie der von Plagge und Lebbin. Der Versuch von letzteren bedeutet einen Energieverlust von 52·44 Prozent und einen N-Verlust von 56·32 Prozent. Dabei ist aber nicht möglich anzugeben, wieviel resorbierbare Substanz auf verdaute Zellmembran trifft, ebensowenig wie bei Hindhede; die verdaute Zellmembran ist aber kein „vollwertiger“ Nährstoff, da ja der

Gärverlust noch in Abrechnung zu stellen wäre. Der Nutzeffekt ist also noch geringer. Wenn Plagge und Lebbin sagen, der angeblich hohe Nährwert der Kleie ist eine Fabel, die aus der Ernährungslehre schwinden muß, so sagt Hindhede, obschon er noch etwas weniger Verdaulichkeit gefunden hat als Plagge und Lebbin, das Umgekehrte: „Der angeblich geringe Nährwert der Kleie ist eine Fabel, die aus der Ernährungslehre schwinden muß.“ Da Hindhede selbst gar keine weitere Tatsache gefunden hat, als lange vor ihm bekannt war, so bleibt es jedem überlassen, wie er über ein Nahrungsgemenge urteilen will, das zu mehr als der Hälfte unverdaulich ist. Hindhede zitiert am Schluß seiner Abhandlung eine Äußerung, die ich in einem Artikel[1] über die Verwertung der Kleie gemacht habe. Abgesehen davon, daß ich mich darüber, ob man die Kleie im Brot lassen oder verfüttern soll, schon 1883 geäußert habe, sind die nur Deutschland interessierenden Probleme ausführlich in dem Buch von Eltzbacher[2], an dem ich nicht unwesentlich beteiligt bin, besprochen. Man muß zur Beurteilung dieser Fragen die ganze Sachlage kennen, um ein Urteil fällen zu wollen, wann es zweckmäßig, erlaubt oder notwendig ist, die Kleie als Viehfutter zu benutzen. Darüber mich mit Herrn Hindhede auseinanderzusetzen, dem die Einsicht in unsere Verhältnisse fehlt, habe ich keinen Anlaß.

Das Finklerbrot.

In neuester Zeit ist in der Literatur mehrfach von einem Mahlverfahren die Rede gewesen, das vor längerer Zeit von Finkler angegeben worden ist. Dieses Brot wird geradezu als „das Brot der Zukunft“ bezeichnet.[3] Anlaß zu dieser erneuten Empfehlung des Finklerbrotes, das ja schon seit 8 Jahren bekannt ist, ohne bisher in der Praxis sich eingeführt zu haben, scheinen Versuche gegeben zu haben, welche v. Delcastello in der II. Medizinischen Klinik in Wien an einer Reihe von Patienten ausgeführt und mitgeteilt sind.[4]

Finklers Angaben rühren aus dem Jahre 1910[5] her. Er knüpft an

---

[1] *Deutsche med. Wochenschr.* 1915.

[2] *Die deutsche Volksernährung.* 1914. S. 115. Das Erträgnis einer Verfütterung an Tiere ist ganz ungleich, je nachdem man es mit Schwein oder Rind, und ungleich je nachdem man es mit Fleisch- und Fett- oder Milchproduktion zu tun hat, ungleich auch, je nachdem man das Erträgnis auf Gesamtfutter oder Zusatzfutter rechnet. Das scheint Hindhede nicht ganz klar zu sein.

[3] Stocklasa, *Das Brot der Zukunft.* Jena 1917.

[4] *Zeitschr. f. phys. u. diät. Therapie.* 1917. Bd. XXI. S. 73.

[5] *Zentralblatt f. allgemeine Gesundheitspflege.* 1910. Bd. XXIX. S. 241.

meine Beobachtungen über die Ursachen der schlechten Ausnützung des Eiweißes in den Kleiezellen an, welche erwiesen hatten, daß es die Einschließung dieses Eiweißes in die für Fermente offenbar schwer oder nicht durchgängigen Zellen ist, wodurch die Resorption dieses Eiweißes unmöglich gemacht wird. Auch durch künstliche Verdauung konnte ich nur einen Teil des Kleieeiweißes lösen.[1] Später haben Plagge und Lebbin die Vermahlung von Kleie möglichst weit getrieben, ohne aber eine günstige Ausnützung des N zu erreichen. Ob ihre Versuche aber als entscheidend für die Frage der Löslichkeit oder Unlöslichkeit des Kleieeiweißes in vollem Umfange anzusehen sind, scheint mir nicht ganz sicher zu sein; sie haben wohl bewiesen, daß eine nutzbringende Verwertung des N nicht möglich war, doch wäre es denkbar, daß erhebliche Teile des im Kot nachgewiesenen N von Stoffwechselprodukten herrühren.

Jedenfalls hat Finkler, hieran weiter anknüpfend, geglaubt, ein anderes Verfahren als die trockene Zerreibung der Zellmembran anwenden zu müssen, und ist zur feuchten Vermahlung übergegangen, was allerdings kein neuer Gedanke war, da die feuchte Zertrümmerung des Kornes schon vor ihm in dem sogenannten Gelinkverfahren — ohne Erfolg — angewendet worden war. Finkler glaubt in der feuchten Zermahlung der Kleie den Weg gefunden zu haben, die Zellmembran der Kleie frei von dem Kleieeiweiß zu machen, stützt sich auf den mikroskopischen Befund, der bei seiner Art der Vermahlung leere Kleberzellen zeigt, und auf die künstlichen Verdauungsversuche, welche die weitgehendste Auflösung des Eiweißes dieses aufgeschlossenen Kleieeiweißes erkennen ließen, und endlich auf Ausnützungsversuche, bei welchen Brot aus Mehl und aufgeschlossener Kleie (Finklermehl) eine ebenso günstige N-Ausnützung wie bei anderem Brot, das aus Mehl z. B. von 75 Prozent Ausmahlung hergestellt sei. Wenn man so den Plan Finklers, zur Verbesserung der Resorption des Eiweißes zu gelangen, wohl billigen kann, so ist das freilich nicht die Erledigung des ganzen Problems, da man ja immer noch mit einer Störung der Resorption durch die Zellmembran im allgemeinen vielleicht rechnen muß. Ich habe aber zuerst nachgewiesen, daß die vor meinen Untersuchungen allgemein verbreitete Annahme, unverdauliche Beimengungen zur Nahrung bedingten stets eine allgemeine Verschlechterung der Ausnützung, nicht richtig ist; ferner habe ich gezeigt, daß von dem, was man Kleie heißt, ein erheblicher Anteil resorbierbar ist, aber immerhin ist das, was die Kleie in sich vereint, schlechter resorbierbar, auch die sonst

[1] Delcastello behauptet, daß mir die befriedigende Zerkleinerung der Kleie nicht gelungen sei. Ich habe mich mit Zerkleinerungen der Kleie nie beschäftigt. Delcastello scheint die Originalarbeiten wohl nicht gelesen zu haben.

leichter aufnehmbaren Nährstoffe, z. B. Stärke. Diese grundsätzlich verschiedene Rolle der „Kleie“ verwechselt man zumeist miteinander.

Ich konnte wahrscheinlich machen, daß eine Kleie, die aus den letzten 8·98 Prozent einer Ausmahlung abfällt, 31·3 Prozent Resorption zeigt, und zwar 61·1 Prozent des N und 26·55 Prozent der N-freien Stoffe.[1]

Von einer Resorption der Kleie im allgemeinen zu reden, hat keinen Sinn, weil Kleie nur ein Handelswort ist und gar keiner einheitlichen chemischen Zusammensetzung entspricht; trotzdem wird bis in die neueste Zeit immer wieder versucht, von der „Resorption der Kleie“ zu reden.

Die Ausnützungsversuche, welche Finkler zum Beweise seiner Anschauungen ausgeführt hat, sind der am wenigsten befriedigende Teil seiner Untersuchungen; die Versuche (S. 267) sind von zu kurzer Dauer und tragen in dem Ergebnis, daß bei Finalbrot 7·8 Prozent der Trockensubstanz zu Verlust gehen, bei Weißbrot aber 5·2 Prozent, den Stempel der Unwahrscheinlichkeit. Wir werden ja bald sehen, wie das Finalmehl zusammengesetzt ist; daß ein Vollkornbrot mit allen Zellmembranen, wie es das Finalmehl sein soll, nur um 2·6 Prozent schlechter verdaut worden wäre wie das Weißbrot, ist bei dem großen Unterschied des Zellmembrangehaltes unmöglich. Sonach wird man ein Urteil etwas zurückhalten müssen.

Das Finalmehl Finklers erfährt allerdings eine besondere Verarbeitung: die Kleie wird mit dem fünffachen Volumen verdünnter Kochsalzlösung in hartem Wasser zerrieben und dann wieder auf heißen Walzen getrocknet; das Mehl wird braun. Ob hierbei noch chemische Veränderungen der Kleie vor sich gehen, ist bislang nicht bekannt und nicht untersucht. Von der nassen Quetschung darf man sich, was die Aufschließung der Zellen anlangt, nicht zuviel erwarten; bei meinen Untersuchungen über Growittbrot[2] findet man Näheres darüber angegeben.

Damit soll aber dem Urteil über das Finklerverfahren nicht vorgegriffen werden. Somit wäre das Wesentliche vom Finklerverfahren die Herstellung eines Zellmembranmehles aus den Bestandteilen der Kleie bestimmter Ausmahlung, wozu gewöhnlich die 25prozentige Ausmahlung gedient zu haben scheint; eine solche Ausmahlung bringt noch eine Menge Stärkemehl zum Anfall und ist schon deshalb noch ein Nahrungsstoff.

Von einer Einführung des Finklerbrotes ist bislang nichts bekannt geworden; auch R. O. Neumann berichtet, daß in Bonn das Verfahren nicht mehr ausgeübt wird. Wie ich eingangs erwähnte, sind erst die

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIX. S. 67.

[2] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg.

Versuche von Delcastello es gewesen, die wieder das der Vergessenheit anheimgefallene Finklerbrot erneut empfehlen. Delcastello kommt zu dem Schluß, „daß Kornbrot mit einem Zusatz von 20 Prozent Finalmehl im menschlichen Darm ebensogut ausgenützt wird wie das gewöhnliche Kornbrot, daß also durch das Finklersche feuchte Mahlverfahren die Verdaulichkeit der Kleie der des Mehles gleichgemacht wird".

Delcastello hat Versuche mit Brot von Mehl mit 80 Prozent Ausmahlung verglichen mit demselben Mehl mit 20 Prozent Zusatz von Finalmehl, wobei er im Gesamtmittel fand:

	Bei Roggen 80prozentiger Ausmahlung[1]	Für Finklerbrot
Verlust an Trockensubstanz . . .	9·6 %	10·6 %
Verlust an N	29·9	29·2

Das wäre, praktisch genommen, dasselbe, obschon das Finklerbrot mehr Kleie im Brot eingeführt hat. Richtiger wäre die Rechnung, wenn Delcastello nur die gleichen Versuchspersonen verglichen hätte, dann findet man:

	Aufnahme täglich	Kot trocken	N-Verlust in	Trockens.-Prozent
Roggenbrot	377 g	33·7 g	28·0	8·94
Finklerbrot	367	38·8	27·7	10·57

Eine Untersuchung über die Zusammensetzung des Roggenbrotes und des Finklerbrotes ist nicht ausgeführt worden. So läßt sich nicht erkennen, wie denn das 80prozentige Roggenbrot beschaffen war und wieviel das Finklermehl an Zellmembran hinzugefügt hat. Rechnet man diese Zahlen nach ihrer Mischung um, so waren von 367 g Finklerbrot 294 Teile Brot aus Mehl von 80 Prozent Ausmahlung und 73 Teilen Finalmehl, erstere geben rund 26·3 g Kot, für Finalmehl bleibt also 38·8 — 26·3 = 12·5 g, was (73 : 12·5) einem Verlust von 17·1 Prozent entspricht.

Jedenfalls sieht man also aus diesen Versuchen, daß man das Finalmehl Finklers in der Ausnützung doch nicht glattweg dem Mehl von 80 Prozent Ausmahlung gleichstellen wird, sondern daß es doppelt so schlecht wie ersteres ausgenützt wird. Ob das viel oder wenig ist, läßt sich, weil man die Natur des Finalmehles nicht kennt, nicht sagen, jedenfalls kommt der Zusatz von 20 Prozent Finalmehl zu dem gewählten Roggenmehl kaum auf die Mischung eines Vollkornmehles hinaus. Delcastello gibt auch den Aschegehalt der Ausscheidungen nicht an, was die weitere Verrechnung erschwert. Es bliebe also nur die N-Ausnützung

---

[1] An anderer Stelle gibt Delcastello für dasselbe Brot 75 Prozent Ausmahlung an.

als Maßstab einer nicht ungünstigen Resorption. Überlegt man also alle Zweifel, die sich hier entgegenstellen, so ist eine Klärung, wie sich Finklerbrot verhält, durch diese Experimente nicht gegeben und bei der Bedeutung, welche die Aufschließung nach Finkler haben könnte, eine eingehende Untersuchung nicht zu umgehen.

Wir sehen also, daß wir gleich zu Beginn der Betrachtung schon auf entscheidende Abweichungen von der Zubereitung eines echten Vollkornbrotes stoßen, die wahrscheinlich dem Hersteller unbedenklich erschienen, aber von großer physiologischer Bedeutung sein können. So tritt bei jeder Frage, die man auf diesem Gebiete anschneidet, immer klarer hervor, daß ohne genaue Analyse der Produkte gar kein Urteil über die experimentellen Ergebnisse zu gewinnen ist. Noch immer sehen wir auf diesem Gebiet, daß man Material zu Experimenten benützt, welches irgendeine der üblichen Bezeichnungsweisen trägt; man experimentiert mit Weißbrot, Schwarzbrot, Graubrot, als wenn das irgendwelche Einheiten wären. Schon in meinen Versuchen über die Ernährung mit Weißbrot habe ich Gelegenheit gehabt, mich auf zuverlässige mühlentechnische Angaben zu stützen; Plagge und Lebbin haben dies Verfahren zur Grundlage ihrer Untersuchungen gemacht. Aber auch die mühlentechnische Überwachung kann allein keine Unterlagen für die Beurteilung des Materials geben, da anscheinend bei dem gleichen prozentualen Verhältnis der Ausmahlung trotzdem Unterschiede der Zusammensetzung des Mehles in bezug auf den Zellmembrangehalt im allgemeinen und die Zusammensetzung der Zellmembran im besonderen vorhanden sein können.

Die Finklanisierung der Kleie (Finalmehl).

Der Weg, welcher dazu eingeschlagen wird, ist oben auseinandergesetzt. Ob das kalkhaltige Wasser eine Rolle spielt, ist nicht bekannt. Von einer Firma ist mir sowohl die ursprüngliche Kleie wie auch die finklanisierte übermittelt worden. Eine Einsicht in den Gang der Herstellung besitze ich nicht, daher muß die Analyse über die Art der Veränderungen ein Urteil erlauben. Die ursprüngliche Kleie war sehr stärkereich und weiß, die finklanisierte braun und außerordentlich fein zermahlen.

Eine Analyse des Finalmehles ist vor kurzem von Stocklasa gegeben worden[1]; es finden sich in 100 Teilen Trockensubstanz:

	Prozent
Rohprotein	16·70 bis 17·00
Reinprotein	15·72 „ 16·10
In Pepsin-ClH verdauliche Substanz	15·75

[1] A. a. O. S. 116.

	Prozent	
Lezithin	0·71	7·65 (Lezithin, Fett, Phytin)
Fett	5·66	
Phytin	1·28	
Stärke	50·32	
Glucose	1·22	
Pentosane	4·18	
Zellulose	9·50	
Reinasche	9·16	

Das vorliegende Material unterscheidet sich in einem so wesentlichen Punkte von dem Finalmehl, welches ich untersucht habe, daß es nicht weiter in Betracht gezogen werden kann. Es hatte nur 4·18 Prozent Pentosan bei 9·50 Prozent Zellulose. Ein so niedriger Pentosangehalt ist unmöglich für irgendeine Getreidefrucht, denn die Hüllen der Getreidesorten sind gerade durch ihren enorm hohen Pentosangehalt gekennzeichnet. Um einen Druckfehler kann es sich in obigen Angaben Stocklasas nicht handeln, da alle analytischen Werte zusammengenommen 98·99 Prozent ergeben.

Ich habe Finalmehl aus Roggen hergestellt erhalten, das folgende prozentige Zusammensetzung hatte und einen Vergleich mit der ursprünglichen Kleie erlaubt.

Zusammensetzung von Roggenkleie.

	Normal	Finklanisiert	Differenz
Asche	5·89	5·94	+0·05
Organisch	94·11	94·06	−0·05
N	2·66[1]	2·63[2]	−0·03
Pentosan	22·65	21·60	−1·05
Zellmembran	25·94	24·85	+1·09
Darin Zellulose	7·20	7·17	−0·03
Darin Pentosan	11·78	12·56	+0·78
Rest	6·96	5·12	−1·84
Fett	3·70	2·39	−1·35
Stärke	36·98	41·56	
Verbrennungswärme	445·1	456·1	

Die zwei Proben von Roggenkleie, normale und finklanisierte, stimmen fast völlig überein. Die kleinen Differenzen mögen in unvermeidlichen Schwankungen der Probeentnahme, mit denen man rechnen muß, ihre Erklärung finden. Das Finalmehl besteht also zu vier Zehnteln aus leicht resorbierbarem Stärkemehl, wozu noch Pentosen zu rechnen sind.

Für die Herstellung der Finklerkleie ist zu bemerken, daß dieselbe ohne vorherige Schälung des Kornes gewonnen wird; sie wird so wenig wie das Korn selbst eine gleichartige Zusammensetzung haben, gerade im

[1] = 16·62 Protein.

[2] = 16·43 Protein.

Zellmembrangehalt schwanken die Ernten erheblich. Bei der Ausmahlung entfallen die natürlichen Differenzen des Zellmembrangehaltes alle auf die „Kleiezusammensetzung“. Ein wesentlicher Unterschied in der Menge der in kaltem Wasser löslichen Bestandteile der Kleie und des Finalmehles habe ich in meinen Proben nicht nachweisen können.

Versuche mit Finklerbrot.

Die Aufgabe war, vor allem die Resorptionsverhältnisse des Finalmehles festzustellen. Zu diesem Behufe darf man nicht von einer beliebigen Mehlsorte ausgehen, die man dem Finalmehl beimengt, vielmehr hat man, wie ich das an anderer Stelle schon gezeigt habe, den Träger der zu untersuchenden Substanz so zu wählen, daß er selbst die analytische Feststellung am Finalmehlanteil tunlichst scharf hervortreten läßt; also ein feines Mehl ist hierzu erforderlich. Mir standen noch Reste des Mehlvorrates zur Verfügung, mit dem die Versuche über die Verdaulichkeit aufgeschlossenen Strohes[1] durchgeführt worden sind, also Weizenmehl. Zu diesem wurde so viel Finalmehl aus Roggen gegeben, daß eine 30prozentige Mischung entstand. Das Finalmehl war von der Fabrik so hergestellt, daß sie es als tadellos bezeichnete. Gebacken wurde in der staatlichen Versuchsbäckerei, so daß technisch ein vollkommen einwandfreies Brot erhalten wurde. Es war von tiefbrauner Farbe, gleichmäßig gegangen, ausreichend locker. Was seine sonstigen Eigenschaften anlangt, so kann es den Vergleich an Aroma und Geschmack mit einem reinen Roggenbrot von 80 Prozent Ausmahlung oder auch dem Klopferbrot nicht aushalten. Alle Personen, die bei dem Versuch beteiligt waren, hatten den Eindruck, daß die spezifisch angenehmen Geschmackseigenschaften und der Geruch des Brotes mit Finalmehl leidet. Die Kotbildung war entschieden vermehrt, doch habe ich nicht feststellen können, daß es, was Gasentwicklung anlangt, sich von anderen ähnlichen Brotsorten unterscheidet. Der Kot ist nicht hart, sondern bleibt plastisch und weich. Hinsichtlich der Austrocknung verhielt das Brot sich günstig, auch nach einer Woche hatte es seine Weichheit nicht ganz eingebüßt. Die Versuche wurden an denselben Soldaten ausgeführt wie die vorhergehenden Versuche mit Klopfermehl.

Das Finalmehl zur Brotbereitung wurde nach Angabe der Fabrik aus Roggen hergestellt und hinter 80 Prozent Mehl gewonnen unter Ausmahlung des Kornes bis 94 Prozent; daraus folgt, daß die Mischung des

---

[1] *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlg. S. 318.

Finalmehles etwa mit Mehl zu 80 Prozent Ausmahlung nicht ein Vollkornbrot liefert, sondern eine geringere Menge von Zellmembran wie diese enthalten muß, denn die letzten 6 Prozent der Vermahlung (94 bis 100 Prozent) hätten ein Mehl von noch stärkerem Zellmembrangehalt liefern müssen. Welche Anteile dabei fehlen, läßt sich gar nicht sagen, weil bei der Vermahlung mühlentechnisch recht verschiedene Bedingungen vorhanden sein können.

Das Finalmehl, welches zu den Versuchen benutzt wurde, hatte folgende Zusammensetzung; in 100 g Trockensubstanz Finalmehl war:

	Prozent
Asche	6·62
Organisch	93·38
N	2·77[1]
Pentosan	19·94
Zellmembran	22·87
Darin Zellulose	6·78
Darin Pentosan	10·13
Rest	5·96
Fett	2·13
Stärke	41·26[2]
Kalorien	449·80

Es ist aschereich, reich an Protein, an Pentosan, Zellmembran; der Stärkegehalt ist aber keineswegs klein, er beträgt noch immer 41·3 Prozent. Wenn hier eine Vermahlung zwischen 80 bis 94 Prozent vorliegt, kann man nicht behaupten, daß der Zellmembrangehalt sehr groß wäre. Gereinigte Kleie enthält nach meiner Analyse:

36·67	Prozent	Pentosan,
69·14	,,	Zellmembran
2·33	,,	N = 14·56 Prozent Rohprotein
20·00	,,	Zellulose.[3]

Das Finalmehl entsprach etwa dem früher als Roggenfinalmehl mir übermittelten Material. Im Finalmehl waren auf 100 Teile 0·51 g N fest mit der Zellmembran verbunden = 18·4 Prozent des gesamten N im Finalmehl; die Hauptmasse des N scheint also freier, zugängiger zu sein, er rührt von dem beigemengten Mehl und wohl aus den geöffneten Kleiezellen her. Die Vermahlung der Kleiezellmembran im Finalmehl ist sehr weit getrieben, so daß mit bloßem Auge die einzelnen Teilchen kaum unterschieden werden können. Diese gute Vermahlung der Kleiezellen hat sicher ihre Bedeutung, weil das freie Kleieeiweiß natürlich schon beim

[1] = 17·31 Rohprotein.

[2] Berechnet.

[3] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 139.

Durchgang durch den Darm resorbiert werden kann, während jener Anteil, der erst frei wird, wenn die Zellmembran verdaut wird, schlecht zur Resorption gelangt, offenbar deshalb, weil er an einer Stelle des Darmes liegt, an welcher die Aufsaugung vermindert und schlecht wird. Ähnliches sieht man häufig auch bei den Pentosanen.[1] Dieses Finalmehl wurde für meine Versuche mit feinem Weizenmehl gemischt im Verhältnis von 70 : 30 des lufttrockenen Mehles, dessen Zusammensetzung aus den später aufgeführten Analysen des reinen Weizenbrotes entnommen werden kann. Das Finalmehl bringt also viele Aschebestandteile in das Mischbrot, außerdem viel Protein, dafür aber reichlich Zellmembran. Das Protein haftet in dem Finalmehl nicht so fest an der Zellmembran wie in manchen anderen Kleiearten, was ich als bemerkenswert finde und im Sinne einer besseren Zerkleinerung der Kleie gedeutet werden kann.

Das zubereitete Brot entsprach nach den Analysen sowohl wie nach der Wägung der gemischten Substanz: 70 Prozent feinem Weizenmehl und 30 Prozent Finalmehl. Man darf dieses Brot aus mehreren Gründen vielleicht nicht einem Finklerbrot anderer Herstellung an die Seite stellen — bis jetzt gibt es noch keine einheitlichen Normen für solches Brot, wenn auch dem Gedanken des Erfinders gemäß ein Vollkornbrot vorliegen soll, also Finalmehl und Restmehl gleich dem ursprünglichen Korn sein sollen. Das Versuchsbrot hatte als Träger für das Finalmehl feines Weizenmehl, nicht aber Roggenmehl mittlerer Ausmahlung. Bis jetzt haben Vergleiche von Weizen- und Roggenmehl stets eine bessere Ausnützung der Eiweißstoffe beim Weizen gegenüber dem Roggen ergeben, zum Ausgleich für das feine Weizenmehl habe ich einen größeren Prozentsatz Finalmehl, d. h. 30 Prozent statt 25 Prozent zugegeben, was indes — abgesehen von der Natur des Weizenmehles — im ganzen die Verhältnisse des Handels-Finklerbrotes annähernd herstellen wird.

Von den Eigenschaften des Brotes habe ich schon gesprochen; die Versuchspersonen hatten dieselben Empfindungen, das Brot ist nicht so schmackhaft und deshalb war das Verlangen nach Brot auch nicht so ausgeprägt, eine Erscheinung, die man heutzutage mit dem ganz mißbrauchten und vieldeutigen Wort „es sättigt“ zu benennen pflegt. Nach dieser schiefen Auffassung würde alles, was nicht schmeckt, besonders sättigen. Über den Verbrauch der beiden Versuchspersonen gibt nachstehende Zusammenstellung Auskunft.

---

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 77.

Roolfs.

Weizenauszugmehl + 30 Prozent Finkler-Roggenkleie.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot tr.
17. II.	63·70	1130 g Brot							
		50 g Zucker					Harn vollständig		
		30 g Kaffee					für 24 Stunden		
		2 l Wasser	1130		1660	4·4			
18. II.		1180 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1087		1740	10·5	9^{00} V.	310	80
19. II.	63·35	1130 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1141		2100	10·0	10^{30} V.	285	75
20. II.		1180 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1199		1580	8·7	8^{00} V.	340	120
21. II.		1155 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1175		2180	9·8	7^{30} V.	390	95
22. II.		1145 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	1176		1920	6·9	9^{30} V.	150	40
							2^{00} N.	405	90
23. II.	64·00	950 g Brot							
		50 g Zucker							
		30 g Kaffee							
		2 l Wasser	976		1700	5·8	3^{00} N.	180	50
			7884					2060	550

= 1126·3 g pro Tag = 555 g vermahlen
= 692·2 g lufttrocken = 79·3 g lufttrocken pro Tag

Das Brot hatte 61·5 g Trockensubstanz, als Getränke wurde ein gehaltloses Kaffeesurrogat mit etwas Zucker gegeben, die eine Person erhielt auch etwas Fett. Die genossenen Brotmengen wurden auf der Höhe von 1100 bis 1200 g täglich gehalten, eine Menge, die von einem gesunden Manne leicht verzehrt wird. Die Zusammensetzung des Brotes, die Mengen der Einnahmen und Ausscheidungen finden sich in der Tabelle S. 327.

Das Brot hatte einen Zellmembrangehalt, der einem Vollkorngehalt entspricht oder wenig hinter ihm zurücksteht; insofern war also die Mischung richtig getroffen. Es war eiweißreich, unterschied sich, das mag

Kollmann.

Weizenauszugmehl + 30 Prozent Finkler-Roggenkleie.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot tr.
17. II.	56·00	895 g Brot 30 g Kaffee 2 l Wasser	895	10·82			Harn nicht vollständig		
18. II.		1090 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1094		1640	9·7	8^{00} V.	285	70
19. II.	56·00	1155 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1175		2120	8·2	8^{00} V.	260	65
20. II.		1230 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1256		1540	10·1	8^{00} V.	430	105
21. II.		1165 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1198		1740	10·5	8^{00} V.	250	65
22. II.		1155 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1191		1600	9·6	7^{30} V.	405	105
23. II.	55·50	830 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	865		1320	10·0	8^{00} V.	235	75
24. II.		Weißbrot			1680	9·7	4^{00} N.	170	?
							12^{00} N.	115	25
			7674					2150	

= 560 lufttr. 80·0 g pro Tag

1440 g Brot frisch = 885 g trocken vermahlen = 61·46 Prozent lufttrocken = 60·0 Prozent Trockensubstanz.

gesagt sein, um Übertreibungen in dieser Hinsicht entgegenzutreten, nur um wenig vom Proteingehalt der Weizenvergleichsproben. Der Zellulosegehalt war natürlich auch bedeutend; groß ist der Pentosangehalt.

Die Ausscheidungen waren ziemlich trocken (26 bis 26·7 Prozent Trockengehalt), dabei nicht sehr hart, was auf die feine Zerreibung der

Finklerbrot.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:		In 659·3 g pro Tag Kollmann	In 675·6 g pro Tag Roolfs
Asche	3·48	22·83	23·50
Organisch	96·52	636·47	652·10
N	2·03[1]	13·38	13·71
Pentosan	9·45	62·30	63·87
Zellmembran	8·72	59·49	58·89
Darin Zellulose	2·70	17·79	18·23
Darin Pentosan	4·08	26·90	27·56
Restsubstanz	1·94	14·80	13·10
Fett	1·65	10·88	11·14
Stärke	68·10[2]	448·97	466·07
Kalorien	421·70	2780·10	2848·80

In 100 Teilen Kot sind:	Kollmann	Roolfs	In 76·10 g pro Tag Kollmann	In 75·44 g pro Tag Roolfs
Asche	11·87	11·83	9·03	8·92
Organisch	88·13	88·17	67·09	66·52
N	3·93	4·11	2·99	3·10
Pentosan	18·10	18·49	13·77	13·95
Zellmembran	36·76	35·50	27·98	26·77
Darin Zellulose	11·99	13·07	9·13	9·86
Darin Pentosan	13·35	9·43	10·16	7·11
Restsubstanz	11·42	13·10	8·69	9·80
Fett	5·60	5·38	4·25	4·06
Stärke	5·90	5·36	4·49	4·04
Kalorien	460·60	462·50	350·60	348·90

Kleie zurückgeführt werden muß. Ungemein reich war der Kot an Pentosanen, die Zusammensetzung des Kotes beider Männer wie auch die Menge der Ausscheidungen stimmten sehr gut überein. Über ein Drittel des ganzen Kotes waren Zellmembranen, in denen auch der größte Teil der Pentosane gebunden war.

Aus den analytischen Ergebnissen lassen sich folgende Werte der Verluste ableiten:

	Kollmann	Roolfs	Mittel
Verlust an N	22·34	22·51	22·42
Kalorien	12·61	12·24	12·42
Pentosan	22·60	21·91	22·00
Zellmembran	47·02	45·46	46·23
Zellulose	51·32	54·11	52·71
Pentosan der Zellmembran	37·77	25·76	31·75
Restsubstanz	68·85	74·81	71·83
Stärke	1·00	0·86	0·93

[1] = 12·68 Protein.

[2] Berechnet.

Die Ausnützung des N war für ein Brot von so hohem Zellmembrangehalt sehr günstig, doch muß man im Gedächtnis behalten, daß 57·2 Prozent des N in Weizeneiweißstoffen vorhanden waren, die recht gut ausgenützt zu werden pflegen. Die Gesamtausnützung war günstig, denn 12·42 Prozent für ein zellmembranreiches Brot ist nicht viel Verlust, doch ist die Ausnützung der Zellmembran nicht besser, als ich sie bei dem Growitt-Vollkornbrot auch nachgewiesen habe (47 Prozent Verlust); der Unterschied im Kalorienverlust bei diesem Brot (Growitt 14·8 Prozent Verlust, Finkler 12·42 Prozent) ist auch nicht bedeutend genug, um von einer wesentlich erhöhten Aufschließung zu reden, zumal nicht dieselbe Person zur Verwendung kam. Es bleibt also fraglich, wie man den Hauptpunkt, d. h. die bessere N-Ausnützung, bewerten und ob man sie im Sinne Finklers deuten will und darf.

Das Weißbrot.

Um einen sicheren Anhaltspunkt zur Beurteilung der Verdaulichkeit des Finklerbrotes zu gewinnen, mußte auch noch an den gleichen Personen ein Versuch mit dem feinen Weizenmehl ausgeführt werden, das zur Mischung mit dem Finalmehl gedient hatte. Das Brot war ausgezeichnet, aber im Geschmack und Geruch weniger anregend als z. B. Roggenbrot aus Mehl von 80 Prozent Ausmahlung, nur fällt sofort die geringere Belästigung durch Darmgase auf. Die Trockensubstanz des Brotes war 66·9 Prozent. Die verzehrten Brotmengen waren, da das Brot den Leuten besser mundete, etwas größer und wurden absichtlich nicht auf der gleichen Höhe belassen wie bei Finklerbrot. Das Nähere über den Verlauf der Experimente geben nachfolgende Tabellen.

Weizenbrot.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:		In 771·5 g pro Tag Kollmann	In 736·3 g pro Tag Roolfs
Asche	1·50	8·86	8·47
Organisch	98·50	762·64	727·83
N	1·66[1]	12·81	12·22
Pentosan	3·29	25·37	24·21
Zellmembran	1·27	9·79	9·35
Stärke	74·80	566·90	550·60
Kalorien	415·40	3198·60	3058·50

[1] = 10·37 Prozent Rohprotein.

In 100 Teilen Kot sind:	Kollmann	Roolfs	In 25·87 g pro Tag Kollmann	In 26·78 g pro Tag Roolfs
Asche	10·30	10·72	2·66	2·86
Organisch	89·70	89·28	23·21	23·92
N	7·10	7·47	1·84	2·00
Pentosan	5·11	5·62	1·32	1·50
Zellmembran	13·08	10·72	3·38	2·85
Darin Zellulose	5·21	4·33	—	—
Darin Pentosan	2·46	2·87	—	—
Rest	6·41	3·52	—	—
Fett	10·41	11·88	2·69	3·18
Stärke	7·19	5·45	1·85	1·46
Kalorien	537·50	531·00	139·34	142·19

Kollmann. Weißbrot.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot tr.
23. II.	55·50	Finklerbrot			1320	10·0			
24. II.		1090 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1090	11·55	1680	9·7			
25. II.	55·30	1190 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1194	12·65	1960	8·6	8⁰⁰ V.	140	25
26. II.		1155 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1171	12·41	1940	11·7	8⁰⁰ V.	125	25
27. II.	55·50	1230 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1261	13·36	1600	9·5	9³⁰ V.	130	20
28. II.		1045 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1078	11·42	?	10·4	8⁰⁰ V.	115	25
1. III.	56·20	1050 g Brot 30 g Butter 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1088	11·53	1560	9·0	10⁰⁰ V.	100	20
2. III.		Gemischte Kost			1840	9·7			
							8⁰⁰ V.	285	50
			6882					895	165 g

= 1147 g frisch = 160·0 g gepulvert
= 765·6 g trocken = 26·6 g lufttrocken pro Tag

620 g Brot frisch = 415 g trocken vermahlen
= 66·93 Prozent trockne Substanz
= 66·73 Prozent trocken.

Roolfs.

Weizenauszugmehl. Kontrolle zur Finklerkleie.

Datum	Gewicht	Nahrung	Brot frisch	Brot N	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot tr.
23. II.	64·00	Finklerbrot			1700	5·8			
24. II.		1160 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1160	12·29	1920	6·2	7⁰⁰ N.	85	25
25. II.	63·30	1200 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1208	12·80	1920	5·9	2³⁰ N.	40	15
26. II.		1130 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1142	12·10	1680	10·5	7³⁰ V.	145	40
27. II.	63·50	1050 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1072	11·36	1960	7·1	2³⁰ N.	55	15
28. II.		1160 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1194	12·65	1540	9·8	8⁰⁰ V.	235	45
1. III.	64·00	1120 g Brot 30 g Zucker 30 g Kaffee 2 l Wasser	1161	12·30	1540	9·6	2³⁰ N.	95	20
2. III.		Gemischte Kost			1960	7·6	4⁰⁰ N.	150	30
			6937 = 1156·1 g pro Tag = 771·2 g trocken					805 gewogen und vermahlen = 165 g = 27·5 pro Tag	190

Die Ausscheidungen waren weicher und mehr breiig (18·4 Prozent bis 20·5 Prozent Trockensubstanz). Zusammensetzung der Einnahme und Ausgabe siehe vorstehend.

Das Brot ist außerordentlich aschearm; der Zellmembrangehalt ist verschwindend klein. Trotzdem sieht man, daß im Kot sich Zellmembranreste häufen und 11 bis 13 Prozent der ganzen Masse ausmachen. Der Pentosangehalt ist stark im Sinken. Diese Ergebnisse sind übrigens schon aus anderen meiner Versuche genügend bekannt.

Die Verluste im ganzen waren folgende:

	Kollmann	Roolfs	Mittel
Verlust an N	11·27	16·37	13·82
Kalorien	4·35	4·65	4·50
Pentosan	5·20	6·19	5·69
Zellmembran	34·52	30·48	32·50
Stärke	0·32	0·26	0·29
Asche	56·70	52·70	54·70

Das Ergebnis stimmt mit früheren überein, indem sonst von mir 3·70 Prozent und 4·23 Prozent Kalorienverlust für Mehl dieser Art gefunden wurden. Der N-Verlust ist nicht unbedeutend, wenigstens habe ich auch bessere Resorptionen gesehen. Der Verlust an Zellmembran war bei diesen Versuchspersonen recht gering, doch läßt sich bei den großen Schwankungen in der Verdaulichkeit der Zellmembran eine größere Konstanz dieser Werte bei verschiedenen Personen nicht erwarten.[1]

Im Finklerbrotversuch rührt also nur ein Teil der Ausscheidungen von dem Finalmehl her, ein anderer von diesem Weißbrotanteil.

Es ist von Bedeutung, jetzt die Zusammensetzung der Ausscheidungen näher zu vergleichen und die Stoffwechselprodukte von dem Unverdaulichen zu scheiden. Die Berechnung, welche analog zu den früheren Versuchen durchgeführt wurde, ergab folgendes für Finklerbrot und Weißbrot.

Versuchsperson	Kalorien aus				Kalorien im Kot pro Tag	Kalorien aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien im Tag	Vom Verzehrt. treffen Stoffwechselprodukte	Auf 100 Kal. des Kotes treffen Stoffwechselprod.
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
				Finklerbrot:					
K.	18·40	157·5[2]	18·0	193·9	350·6	156·7	2780	5·63	44·77
R.	16·56	173·3[3]	28·2	218·1	348·9	130·8	2849	4·58	37·49
							Mittel	5·15	41·13
				Weißbrot:					
K.	7·58	43·25[4]	4·1	54·93	139·34	84·41	3199	2·64	60·59
R.	5·68	43·14[5]	4·1	52·92	142·19	59·27	3058	2·92	62·78
							Mittel	2·78	61·68

Versuchsperson	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot im Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozent-Verlust an Protein	Von 100 Tln. Kot-N sind Stoffwechselprodukte
				Finklerbrot:					
K.	12·18	76·1	9·26	1·47	2·99	1·52	13·38	11·37	50·2
R.	14·67	75·4	11·01	1·77	3·10	1·33	13·71	9·70	42·9
							Mittel	10·53	46·8
				Weißbrot:					
K.	19·60	25·9	4·97	0·79	1·84	1·05	12·81	6·16	42·9
R.	19·56	26·8	5·25	0·84	2·00	1·16	12·22	6·87	42·0
							Mittel	6·51	42·4

[1] *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlg. S. 85.

[2] 114·8 Zellmembran
42·1 Protein
157·5

[3] 108·6 Zellmembran
64·7 Protein
173·3

[4] 13·85 Zellmembran
29·40 Protein
43·25

[5] 11·68 Zellmembran
31·46 Protein
43·14

Wie schon früher gefunden wurde, gibt das Weißbrot eine sehr geringe Menge von Stoffwechselprodukten, nur 2·78 Prozent der Kalorien; bei dem Finalbrot ist dieser Anteil größer geworden. Der Zusatz des Finalmehles bedingt also auch Mehrung der Stoffwechselprodukte. Im Weißbrot sind die Stoffwechselprodukte sehr reichlich (61·7 Prozent), dies rührt von der guten Resorption der Zellmembran durch meine beiden Versuchspersonen her.

Bei den N-haltigen Stoffwechselprodukten ist die Menge auch bei Weißbrot geringer als bei Finklerbrot, und die Relation zwischen Gesamt-N-Ausscheidung und Stoffwechsel-N ist nicht sehr verschieden bei Finklerbrot und Weißbrot.

Noch läßt sich ein voller Einblick in den Grad des Nutzens, den das Finalmehl bringt, nicht gewinnen; es gelingt dies durch andere Gruppierung der Zahlen. Unter der zutreffenden Annahme, daß innerhalb einiger Grenzen die Kotmengen der Nahrung proportional sind, läßt sich folgender Weg einschlagen: Von den Ausscheidungen bei Finklerbrot wird jener Anteil an Kotbestandteilen in Abzug gebracht, welcher auf den Weißbrotanteil zu rechnen ist. Der Zuwachs an Finalmehl im Finklerbrot gegenüber dem Weißbrot ist auch bekannt, also läßt sich berechnen, welche Stoffe im Kot dadurch vermehrt wurden, daß man eine gewisse Menge Finalmehl zugebacken hat. Eine solche Berechnung hat folgendes Ergebnis geliefert:

Kollmann.

	Kot	N	Stoffwechsel-N	Kalorien	Stoffwechsel-kalorien	Zellmembran	Stärke	Protein-N	Asche
659·3 g Finklerbrot . .	76·12	2·99	1·52	350·6	156·7	27·98	4·49	1·47	9·03
461·5 g Weißbrot . . .	15·47	1·10	0·63	85·1	50·4	2·07	1·11	0·47	1·59
197·8 g Finalmehl . . . = 890·1 Kalorien	60·65	1·89	0·89	267·5	106·3	25·96	3·38	1·00	7·44

Roolfs.

	Kot	N	Stoffwechsel-N	Kalorien	Stoffwechsel-kalorien	Zellmembran	Stärke	Protein-N	Asche
675·6 g Finklerbrot . .	75·44	3·10	1·33	348·9	130·8	26·77	4·04	1·77	8·92
472·9 g Weißbrot . . .	15·86	1·18	0·68	84·2	57·2	11·70	0·94	0·54	1·83
202·7 g Finalmehl . . . = 912·1 Kalorien	59·58	1·92	0·65	264·7	73·6	25·07	3·10	1·23	7·09

Für beide Männer ist die Rechnung getrennt durchgeführt.

Aus diesen Zusammenstellungen läßt sich ohne weiteres die Ausnützung des Finalmehles ableiten:

	Zugabe an Finalmehl in absoluten Werten		Verluste pro Tag in Prozent		Mittel in Prozent
	Kollmann	Roolfs	Kollmann	Roolfs	
Gramm	197·80	202·70	—	—	—
N	5·48	5·60	34·50	34·30	34·40
Kalorien	890·10	912·20	30·00	29·00	29·50
Zellmembran	45·20	46·30	57·40	53·90	55·60
Stärke	81·40	83·70	4·10	3·70	3·90
Stoffwechselverlust an N	—	—	11·94	8·07	10·00
Protein-N	—	—	18·24	21·96	20·10

Daraus lassen sich folgende Mittelwerte ziehen und mit den beiden Brotarten vergleichen:

	Finalmehl	Finklerbrot	Weißbrot
Verlust an N	34·40	22·42	13·82
„ „ Protein-N	20·10	10·53	6·51
„ „ Kalorien	29·50	12·42	4·50
„ „ Stoffwechselkalorien	10·00	5·15	2·78
„ „ Zellmembran	55·60	46·23	32·50
„ „ Stärke	3·90	0·93	0·29

Hieraus ergeben sich folgende Schlüsse:

Das Finalmehl meiner Versuche zeigt einen relativ niedrigen N-Verlust, denn Vollkornroggenmehl, das ja nur einen Teil solcher Zellmembranen enthält wie das Finalmehl, wird viel schlechter im N-Anteil ausgenützt; der Kalorienverlust ist freilich sehr groß, aber ein erheblicher Teil rührt von der ausgeschiedenen Zellmembran her. Betrachtet man den Verlust an Protein-N, so sehen wir bei dem feinen Mehl einen Verlust, der nahe an den Verlust reinen Klebers heranreicht, im Finklerbrot wird aber der N-Verlust schon bedeutend erhöht, im Finalmehl ist er am größten.

Die Behauptung, daß alle Zellen aufgeschlossen seien und das Eiweiß des Finalmehles gleich verdaulich sei mit Mehl ohne diesen Kleiezusatz, beruht auf einer Selbsttäuschung der bisherigen Experimentatoren. Man kann in meinen Versuchen stufenweise die zunehmende Erschwerung der N-Resorption sehen. Alles weist darauf hin, daß eine allgemeine Aufschließung der Zellen nicht eingetreten ist.

Dies ergibt sich noch aus einer anderen Überlegung. In möglichst mit Wasser und unter Verdauung mit Diastase gereinigter Kleie fand ich früher[1] für 100 Teile Zellmembran immer noch 21·0 g Protein = 3·36 g N,

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 76.

im Finalmehl finde ich auf 100 Teile Zellmembran immer noch 2·23 g N, so daß also nur ein Drittel des N, der fester fixiert ist, aufgeschlossen wäre. Nur der kleinere Teil des N in jeder Kleieart ist solcher in den Zellen eingeschlossener N. Durch das Beibacken des Finalmehles steigert sich nicht nur das unverdauliche in den Ausscheidungen, sondern es mehren sioh auch die Stoffwechselprodukte, und zwar erheblich. Auch die Zellmembran des Finalmehles ist schwerer verdaulich wie die des feinen Mehles.

Ich habe bei dem Klopferbrot Gelegenheit gehabt, die Resorption jenen Anteils des Mehles zu bestimmen, der über 75 Prozent Ausmahlung hinaus bis zu 94 Prozent Ausmahlung reichte. Hier bei dem Finklerbrot kommt in der finklanisierten Kleie ein fast übereinstimmender Anteil der Ausmahlung des Kornes zur Verwendung. Eine Vergleichung zwischen der Verdaulichkeit bei den „Kleien" kann von Interesse sein. Die Verluste waren für die Ausmahlungen über 70 bis 75 Prozent:

	Bei Klopfer	Bei Finkler
An Kalorien	23·90	29·50
„ N	58·10	34·40
„ Zellmembran	47·70	55·60
„ Stärke	1·16	3·90

Man kann aus diesen Zahlen schließen, daß der N in dem Kleieanteil bei Finkler leichter resorbierbar war, obschon der große Verlust von 58·1 Prozent bei Klopferbrot etwas durch die ungünstige Verdauung einer Versuchsperson beeinflußt ist. Im allgemeinen muß man sich aber daran erinnern, daß das Finalmehl fast doppelt so viel Zellmembran enthielt als der Kleieanteil beim Klopfermehl, so daß durch letzteren die Resorptionsbedingung im allgemeinen und für den N im besonderen ungünstiger sich stellt. Ist demnach im Gesamteffekt die Rückwirkung der Finklanisierung nicht derart, daß eine sehr ausschlaggebende Beeinflussung im Nährstoffgewinn zum Ausdruck kommt, ist ferner auch zuzugeben, daß die ganze Vermahlungsweise dieser Art irgend eine Umwälzung auf dem Gebiete der Brotbereitung nicht herbeiführen wird, so kann andererseits doch gesagt werden, die bessere Vermahlung der Kleie sei nicht ohne allen Effekt gewesen. Es will mir scheinen, daß für eine Verdoppelung der Zellmembranmengen ein Zuwachs des Kalorienverlustes von 23·9 Prozent auf 29·5 Prozent mäßig ist. Immerhin deutet sich im allgemeinen eine Erschwerung der Resorption im „Kleieanteil" damit an, daß die Stärke schlechter verdaut wird. Sie ist im Finalmehl schon zehnmal schlechter verdaulich geworden als in den feinen Mehlen.

Zusammenfassung.

Der Ausgang dieser Untersuchungen betraf die Feststellung der Ausnützungsverhältnisse der hochprozentigen Ausmahlungen des Roggens, die zum Teil nach patentiertem Verfahren vorgenommen und, oft mit reklamehaften Ankündigungen verbrämt durch allerlei wissenschaftliche Zutaten, in den Handel gebracht werden. Im Grunde genommen kann man mehr erstaunt sein, daß so vielerlei Verfahren, wie sie angewandt werden, letzten Endes dasselbe Resultat geben und daß man auf die entscheidenden Verhältnisse so wenig oder gar nicht zu achten pflegt. Jahrzehntelang bewegen sich die papierenen Diskussionen weiter, wo das Experiment ohne weiteres der Führer für das technische Verhalten sein könnte. In nachstehender Tabelle sind nochmals die Ergebnisse kurz zusammengefaßt und mit den Roggenbroten auch der Versuch mit Finklerbrot zusammengestellt; dabei muß beachtet werden, daß hier eine Mischung von Weizenmehl und finklanisierter Roggenkleie vorliegt, da sich in anderer Weise nicht der Effekt der Finklanisierung deutlich zeigen läßt. Für die Schlußfolgerungen muß auf diese Verschiedenheit besonders geachtet werden, weil sie in den Rohzahlen erheblich zugunsten des Finklerbrotes verwertet werden könnte.

	Growitt-brot	Übliche Ausmahlung 80 Proz.	Geschälter Roggen	Klopferbrot	Finklerbrot	Finklanisierte Roggenkleie
Zellmembrangehalt	8·75	6·69	6·48	6·23	8·72	22·9
Verlust an N	39·3	40·3	38·4	37·9	22·4	34·4
„ „ Protein	25·9	21·6	21·2	20·6	10·5	20·1
„ „ Stoffwechsel-N	13·4	18·7	17·1	17·2	11·9	14·3
„ „ Kalorien	14·8	13·5	15·1	14·4	12·4	29·5
„ „ Stoffwechselkalorien	7·5	7·1	5·9	6·1	5·1	10·0
Unverdaut	7·3	6·4	9·2	8·3	7·3	19·5
Zellmembranverlust	47·0	55·7	66·9	59·3	46·2	55·6

Das Growittverfahren, über das ich mit Thomas schon früher berichtet habe, stand damals etwas vereinzelt, so daß seine Charakterisierung und sein Vorteil nur kurz gestreift werden konnte. Hier läßt sich im Vergleich mit den übrigen Brotverbesserungsverfahren seine Beurteilung besser durchführen.

Das Growittverfahren ist im Grundgedanken nicht neu. Seine Vorgänger sind das Gelinkverfahren, das von Lehmann und von Plagge und Lebbin ungünstig beurteilt wurde, das Averdick- und Simonsverfahren, über welche experimentelle Angaben nicht vorliegen, ferner das Schillerverfahren, das auch nach Lebbin keine gute Ausnützung garantiert.

Über Growittbrot sind von N. Zuntz Mitteilungen gemacht worden über den N-Verlust, wobei in einem Falle 35·92 Prozent gefunden wurden und in einem anderen 25·95 Prozent, bei von der Heide 36·44 und 42·46 Prozent, im Mittel 41·15 Prozent, und bei Brahm 53·47 und 50·36 Prozent. Die Differenzen sind so groß und unaufgeklärt, daß man sich eines Urteils enthalten muß. R. O. Neumann fand bei einer gemischten Kost, die etwa die Hälfte des N in gut resorbierbaren Animalien enthielt:

Als Verlust an Trockensubstanz	Als N-Verlust
12·14 Prozent	21·05 Prozent
11·78 „	20·49 „
13·55 „	23·51 „

Das würde, wenn man den N der Animalien in der Einnahme abzieht und einen Verlust im Kot von 3 Prozent annimmt, etwa rund 33·4, 37·1, 47·0 Prozent Verlust (Mittel 39·2 Prozent) ausmachen. Der letztere Wert wäre immerhin groß, die beiden ersten kämen den von mir erhaltenen Zahlen nahe. Vielleicht darf man annehmen, daß die Schwankungen in der Zusammensetzung des Kornes oder im Zermahlungsverfahren eher die Ursache liefern werden als die schwankende Verdauung, zumal bei R. O. Neumann die gleichmäßigen Versuchszahlen in anderen Reihen eine sehr gleichartige Verdauung bezeugen.

Die Zahlen über die Verwertung des N gehen in einzelnen Versuchen ziemlich weit auseinander. Begnügt man sich aber mit den Mittelzahlen, so würde der N-Verlust zwischen 41·15 und 39·2 Prozent betragen. Nach meinen Versuchen ist der Verlust 39·3 Prozent. Will man auf die Versuche mit anderen Ausmahlungen zurückgreifen, so sieht man[1], daß Roggen bis 15 Prozent Ausmahlung keine bessere und keine schlechtere Ausnützung gibt, auch wenn die Experimente mindestens je eine Woche dauern und die Versuchsreihe überhaupt sich über die Zeit von 6 Wochen erstreckt, was mit Rücksicht auf die sogenannte „Akkommodation" gesagt sein mag, falls solch ein Argument in der Zeit, wo seit Jahren mit seltenen Ausnahmen vegetabilische Kost genossen wird, noch nötig wäre.

Alle anderen in der Tabelle aufgeführten Versuche zeigen Werte, die fast völlig übereinstimmen, mit Ausnahme des Finklerbrotes aus den angedeuteten Gründen. Weder die einfache Vermahlung, noch die übliche Schälung, noch das Klopferverfahren gibt auch nur eine die Fehlerquelle überschreitende Verschiedenheit. Ausgenommen ist aber in allem dieser Versuch einer einfachen Schrotung des Kornes. Stets ist die Kleie ent-

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 193.

weder fein zermahlen oder zerquetscht. Daraus kann man schließen, daß kein Verfahren bei Roggen eine Vermehrung der N-Ausbeute erzielt hat, so viel auch über Aufschließung der Kleiezellen geredet werden mag. Auch keine der Versuchspersonen war mit einer besonderen Eigenschaft der Auflösung der Zellmembran behaftet. Ich verweise aber auf die näheren Angaben beim Abschnitt Finklerbrot, wo die finklanisierte Kleie vielleicht etwas besser ausgelaugt wurde, als man hätte erwarten dürfen, mit 34·4 Prozent Verlust. Hier liegt aber eine Kombination zweier Nahrungsmittel vor, der Kleie und des Weizenmehles, so daß geringe Differenzen in der Berechnung möglicherweise eine Besserung um ein paar Prozente vortäuschen.

Betrachtet man die Angaben über den Proteinverlust, der nur in genäherten Zahlen gegeben werden kann, so bleibt er bei den Broten mit gleichem Zellmembrangehalt derselbe und steigt nur bei dem Growittbrot um einige Einheiten. Er ist aber in der Roggenkleie selbst — mit den obigen Vorbehalten — kaum abweichend von den übrigen Beobachtungen. Die Menge des Stoffwechsel-N ist, auf den N der Zufuhr bezogen, nur wenig schwankend, nimmt aber natürlich bei Kleiezuwachs wegen der höheren N-Zahlen, wie wir später sehen werden, zu.

Im Kalorienverlust sind die äußersten Abweichungen bei dem Roggenversuch 1·6 Prozent; gleichgültig wie die Vermahlungsweise ist, es wird derselbe Prozentsatz verloren, die Menge des wirklich Unverdauten und der Stoffwechselkalorien ändern sich (von der Kleie abgesehen) kaum.

Die Zellmembranverdauung schwankt, aber innerhalb von Grenzen, die für diesen Nährstoffanteil recht unbedeutend sind. Zwischen der Verdaulichkeit bei Quetschung der Kleie und bei feinster Vermahlung und Finklanisierung ist kaum ein Unterschied vorhanden. Mit anderen Worten für den Darm sind hinsichtlich der Verdaulichkeit der Zellmembran alle diese aufgeführten besonderen Verfahren belanglos. Vielleicht könnte man sagen, daß die gewöhnliche Schälung eine etwas geringere Ausnützung zeigt, zumal es sich hier doch immerhin um das Ergebnis aus 4 Wochen Versuchszeit handelt. Es ist also praktisch gleichgültig, wie man im einzelnen verfahren will, wenn es sich im allgemeinen um feine Zermahlung handelt. Den Gegenversuch mit grober Ausmahlung habe ich nicht gemacht, darüber wird später noch etwas zu sagen sein; alle die speziellen Methoden, deren Prüfung erwünscht war, legen mit Recht Wert auf die gute Vermahlung. Dies ist nicht nur aus Gründen der Resorption, sondern auch mit Rücksicht auf die Kotausscheidung und die Verhütung der Härtung des Kotes angebracht.

R. O. Neumann hat nach seiner Methode, die, wie erwähnt, die Resultate nicht unmittelbar mit meinen vergleichen läßt, folgende Verluste gefunden:

	Trockensubstanz	N	Rohfaser	Asche
Für Growittmehl fein vermahlen . .	12·14	21·0	52·9	51·9
„ „ „ „ . .	11·78	20·5	56·6	47·8
„ „ grob „ . .	13·55	23·5	53·1	56·3
Klopferbrot	11·29	21·5	71·0	23·8

Diese Angaben stimmen mit den meinen in dem Sinne überein, daß zwischen Klopfervermahlung und Growittverfahren nur in der Richtung ein Unterschied besteht, daß die Rohfaser und Zellmembran bei letzterem Verfahren etwas besser verdaut wird, was praktisch ohne besonderen Belang ist und höchstens eine gewisse Mehrung der Kotmenge bei dem Klopferbrot bringen würde, die von den Konsumenten kaum wahrgenommen wird.

Für gesunde Leute im kräftigsten Mannesalter ist also eine Ausmahlung des Brotes von 6·2 bis 8·7 Prozent Gehalt an Zellmembran erträglich, und innerhalb dieser Grenzen sind die Verluste bei den einzelnen Bestandteilen etwa proportional ihrer Menge in der Nahrung.

Mit diesem Ergebnis muß man die Versuche mit Zubacken von aufgeschlossenem Stroh in einer Menge, welche die Werte von Finklerbrot und Growittbrot im Zellmembrangehalt nicht überschritt (8·9 Prozent) vergleichen[1], wobei sich ergeben hatte, daß diese Art von Zellmembran sehr ungünstig auf die Ausnützung wirkt, indem sie die Ausnützung aller wesentlichen Substanzen im Darm merklich herabdrückt. Dies stand im Zusammenhang mit der schlechten Verdaulichkeit dieser Zellmembran aus Stroh, von welcher 88·4 Prozent zu Verlust gingen. Ähnliches sieht man auch bei den Versuchen mit Spelzmehlzusatz[2], ein Gemenge mit 9·6 Prozent Zellmembran steigert den allgemeinen Kalorienverlust um 2·9 Prozent, ein Gemenge mit 10·5 Prozent Zellmembran um 5·3 Prozent über den Durchschnitt des Brotes, welchem die Spelze beigemischt waren (13·8 Prozent Verlust). Da die täglich zugeführte Nahrungsmenge sehr viel kleiner war als in den oben angeführten Brotversuchen, kann eine einfache Überlastung des Darmes nicht vorgelegen haben, sondern die Art des verfütterten Materials, die Spelzen, verhielten sich so, daß man bei ihrer Ver-

---

[1] *Dies Archiv.* 1917. Physiol. Abtlg. S. 88.

[2] *Ebenda.* 1916. S. 114.

wendung noch einen zum Teil erheblichen Schaden an wahren Nährstoffen zu verzeichnen hatte. Da die Spelzen selbst nicht unverdaulich waren, so muß man eine besondere Wirkung auf den Darm annehmen. Die Kleie der Zerealien gegenüber den Wurzelgemüsen, Blattgemüsen und Obst, eine relativ schwer verdauliche Zellmembran, ist doch wieder günstiger in ihrer Rückwirkung auf den Darm, insofern sie innerhalb der besprochenen Grenzen, wie in den einzelnen Abschnitten erwähnt wurde, keine deutliche Schädigung der Resorption wichtiger Nahrungsstoffe herbeigeführt zu haben scheint. Auf eine nähere Begründung dieser Behauptung werde ich später einzugehen haben.

An die vorstehende, mehr konkrete Betrachtung der Verdaulichkeit der verschiedenen Brottypen habe ich noch eine eingehende Betrachtung anzuschließen, welche die Vollkornfrage nach ihrer physiologischen und volkswirtschaftlichen Bedeutung näher ins Auge fassen soll. Es wird heutzutage in denkfähigen Kreisen natürlich der Verdaulichkeit eines Nahrungsmittels ein Wert zugesprochen, man will wenigstens einen objektiven Führer, der die Vergeudung von Nahrungsmaterial hindert, haben. Diese Gesichtspunkte sind, wie man mit Bedauern feststellen muß, von jenen Kreisen, deren Entscheidung über das Sachverständigenurteil so gerne hinwegschreitet, nicht beachtet worden.

Ich muß hier betonen, daß man die Ergebnisse im Ausnützungsversuch für die allgemeine Beurteilung nicht überschätzen oder als allein maßgebend betrachten darf, nicht hinsichtlich der Verallgemeinerung auf alle Personen, gleichen Berufs und Alters, noch weniger auf alle Altersklassen. Ich erinnere in dieser Hinsicht an das Unvermögen 6 bis 7 Monate alter Kinder, die Zellmembranen des Spinats zu verdauen, obschon dieser zu den leicht resorbierbaren Blattgemüsen gehört. Die Ausnützungsversuche, meist oder fast ausschließlich an jungen, gesunden, kräftigen Männern ausgeführt, geben uns die optimalen Leistungen; für die Verallgemeinerung auf eine ganze Bevölkerung, als Richtlinien für die Volksernährung können wir uns darauf nicht verlassen. Entscheidend hierfür wäre nur der Massenversuch, der als messender Versuch nicht so durchgeführt werden könnte, wie es wünschenswert ist. Man könnte sich nur im allgemeinen auf jene Angaben stützen, die man über die Bekömmlichkeit solcher Brotarten erhält, wenn nicht hier das subjektive Urteil allzu schwerwiegend wäre; immerhin haben die Erfahrungen doch so viel erkennen lassen, daß wir mit den weitgehenden Ausmahlungen und dem dabei auf der Masse liegenden Zwang, der eine andere Beköstigung ausschließt, die Grenzen der Brotsoren, welche wir unbeschadet der gesundheitlichen Verhältnisse dauernd genießen können, weit überschritten haben. Die

bei vielen außergewöhnlich stark vermehrte Kotbildung nach Masse und Häufigkeit läßt auch die Grenzen für die ungenügende Ausnützung vermutlich sehr viel weiter ziehen, als die direkten Klagen reichen.

Das ist auch verständlich, zumal die Zahl derer, die in Friedenszeiten aus eigener Wahl ein Bedürfnis nach Brot aus Mehl hoher Ausmahlung haben, eine verschwindend kleine ist. Sodann wird die Kleiemenge im Brot so hoch gesteigert sein, daß relativ geringe weitere Vermehrung der Zellmembranen zu nachweislichen Abnahmen der Ausnützung bei optimalen Versuchsbedingungen führen, und dadurch ist die Wirkung auf die Massen dementsprechend ungünstiger geworden.

Der Nutzeffekt für die Verwertung zur öffentlichen Nahrungsversorgung für die Zwecke der Ernährung wird dadurch in Frage gestellt. Um es nochmals zu betonen, Ziel und Aufgabe der Ernährungsfürsorge kann nicht darin bestehen, mit der Kleieanreicherung erst kurz vor jenen Grenzen haltzumachen, wo in nächster Nähe die Leistung des Darmes unter optimalen Verhältnissen versagt. Bei der Bewertung eines Nahrungsmittels nach den Ausnützungsverhältnissen muß auch die ganze Stellung einer solchen Substanz zu den anderen, zur durchschnittlichen Leistung des Darmes in Erwägung gezogen und kritisch beurteilt werden, wobei auch die Bedeutung eines Nahrungsmittels als Teil unserer Gesamternährung wohl im Auge zu behalten ist. Ein Volksnahrungsmittel, welches über vier Zehntel unseres Bedarfes deckt, ist anders zu beurteilen als Dinge, die gelegentlich oder nur in relativ kleinen Mengen in der Kost enthalten sind.

Eine gute Resorption ist aber auch möglich, ohne daß deswegen alle aus physiologischen und hygienischen Gründen zu fordernden Eigenschaften einer Nahrung vorhanden sind. Daher wird auch diese Seite der Frage notwendigerweise ergiebig zu erörtern sein. Ein wichtiger Faktor ist nach meinen Untersuchungen die Kombination der Nahrungsmittel, das vermag, wie in einer späteren Abhandlung gezeigt wird, die Ergebnisse wesentlich zu modifizieren, auch hinsichtlich der Resorption, wobei unter Kombination die einfache Speisenfolge oder das Zusammenverarbeiten getrennt werden muß. Auf diesen Gesichtspunkt muß ich hinweisen, um nicht die eben angeführten Resultate als ein abschließendes Urteil zu betrachten.

Der Roggen hat in der Kriegszeit eine größere Bedeutung erlangt, weil er das Hauptmaterial unserer Broternährung darstellt. In einer früheren Abhandlung haben Thomas und ich bereits die Bedeutung verschiedener Ausmahlungsgrade näher untersucht und zugleich die Einwirkung des Kartoffelzusatzes bei verschiedenem Ausmahlungsgrad festgestellt.

Da inzwischen neue Brotverordnungen die Basis der Ausmahlung verändert haben und verschiedene abweichende Mahlverfahren dringend empfohlen werden, war diese neue Untersuchung notwendig geworden, bei der es sich im allgemeinen um die Prüfung von Brotarten handelt, die in ihrem Kleiegehalt auch für völlig Gesunde an die Grenzen des Erträglichen hart heranzukommen scheinen.

Die vorliegenden Untersuchungen, zusammengenommen mit den anderweitigen, in dieser Zeitschrift[1] veröffentlichten, geben uns ein zutreffendes Bild über den Wert und Unwert einer hochgradigen Ausmahlungsweise, über die Ursache dieser Verschiedenheit und über die Verdaulichkeit.

Aus den von mir ausgeführten Analysen kann man ersehen, welche Zusammensetzung, welchen Nährwert und welche Verwertbarkeit den einzelnen Produkten der Vermahlung zukommt, Schälkleie und Mahlkleie, Kleie verschiedener Ausmahlung, Produkte der Reinigung des Kornes, Produkte einer späteren Ausmahlung sind vorläufig genau festgestellt.

Vielleicht wird man finden, daß noch lange nicht alle „Vollkornbrote“[2] untersucht sind; dazu liegt allerdings kein Anlaß vor. Man braucht nur die verschiedenen Patente der Getreidevermahlung durchzusehen, um zu empfinden, daß hier kein Ende für die physiologischen Prüfungen zu finden wäre. Massenuntersuchungen dieser Art, falls sie beliebt würden, können für die Beurteilung von technischen Erfindungen gewiß noch ihren Wert erlangen und werden im Zusammenhang mit solchen angestellt werden müssen; für die physiologischen Teile glaubte ich mich auf die vorliegenden beschränken zu müssen, zumal die Gewinnung von Korn für die Experimente doch recht erheblichen Schwierigkeiten begegneten und schließlich völlig geeignetes Material nicht mehr zu erlangen war.

Eine Lehre möchte ich allen denen, die auf diesem Gebiete mit bekanntem Ausgangsmaterial arbeiten wollen[3], auf den Weg geben, näm-

---

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 6 u. 165.

[2] Eine außerordentlich eingehende experimentelle Prüfung über das Vollkornbrot ist von R. O. Neumann ausgeführt worden (*Vierteljahrsschrift f. gerichtliche Medizin u. öffentliches Sanitätswesen.* Dritte Folge. Bd. LIII. Heft 1). Wenn ich nicht in allen Fällen auf die Ergebnisse näher vergleichend eingehen kann, so liegt das darin begründet, daß die Versuchsanordnung bei Neumann das Brot als Zulage zu einer einfachen gleichbleibenden animalischen Grundnahrung gegeben hat, um die Verzehrung des Brotes tunlichst dem praktischen Gebrauch anzupassen, während bei meinen Experimenten in erster Linie auf möglichst einfache Versuchsbedingungen Wert gelegt werden mußte.

[3] Angaben über Ausmahlungseffekt und wirkliche Ausbeute gehen oft weit auseinander. So z. B. beim Steinmetzverfahren, bei dem bei 5 Prozent Verlust alle Kleie bis auf die Schlauchzellen weggenommen werden sollte, tatsächlich

lich die sorgsamste Überwachung des Mühlenbetriebes und der Probeentnahme durch wissenschaftlich und technisch geschulte Kräfte. Bei einem Vergleich verschiedener Mahlsysteme muß man mit ganz anderer Sorgfalt in der Auswahl der Rohmaterialien und mit viel eingehenderen Methoden der Untersuchung der Mahlprodukte vorgehen, als es früher und in neuester Zeit noch geschehen ist. Gerade die ausgedehnten Untersuchungen der letzten Jahre zeigen, daß es zwecklos ist, einen experimentellen Aufwand an Produkte zu verschwenden, deren Zusammensetzung dem Experimentator nicht bekannt ist.

Man wird alle Brotarten, die ich in dieser Abhandlung untersucht habe, im gewöhnlichen Sprachgebrauch als Vollkornbrote bezeichnen. Dies geschieht aber zu Unrecht. Es ist notwendig, sich über diese Bezeichnungsweise näher auszulassen, wenn sie nicht ein bloßer Handelsbegriff sein soll, wie etwa das Wort Kleie, welches auch Produkte von höchst schwankender Zusammensetzung bezeichnet. Für den Wert als Nahrungsmittel vom Standpunkt des Stoffersatzes oder hinsichtlich der hygienischen Bedeutung der Brotarten überhaupt kann man es bei dem bisherigen vagen Begriff „Vollkornbrot" nicht bewenden lassen. Das Vollkornbrot kann ganz verschieden bewertet werden, je nach seiner Herkunft. Man hat bis jetzt, meine ich, immer übersehen, daß Dekortikation und Grade der üblichen Ausmahlung nicht verglichen werden können. So ist meines Erachtens ein Verlust bei der Dekortikation von 6 Prozent z. B. etwas anderes als eine Ausmahlung des Vollkorns auf 94 Prozent, weil die „Kleien", welche beseitigt werden, ganz verschieden sind. Durch die Dekortikation läßt sich die Zellmembran eher ohne nennenswerten Mehlverlust abscheiden als bei der sonst üblichen Ausmahlung.

Kleie enthält nach meinen Analysen etwa 26·36 Prozent Zellmembran, bei 20 Prozent Ausmahlung hat man also im Mehl 5·2 bis 7·2 Teile Zellmembran. Man bringt im ersten Falle z. B. ein Mehl von einem Vollmehl mit 11 Prozent Zellmembranen auf 5·8 Prozent. Dasselbe Ergebnis kann aber eine gute Schälung des Kornes auch erreichen. Ausmahlung und Veränderungen durch Dekortikation sind demnach verschiedene Dinge. Weil man diese Besonderheiten nicht beachtet, haben sich in der Literatur eine ganze Reihe widersprechender Angaben über die „Ausnützung" gehäuft.

Nach dem Wortlaut kann Vollkornmehl nur solches Material sein, das alle Teile des gereinigten Kornes ohne Ausnahme umfaßt, wobei nur der unvermeidliche Verlust beim Reinigen und Mahlen gegeben ist, der

aber nur 75 bis 82 Prozent Mehlausbeute gefunden wurden. Praussnitz und Menicanti haben für solche Proben 10·43 Prozent Verlust der Trockensubstanz und 29·2 Prozent N-Verlust gefunden.

auf 4 bis 5 Prozent zu bemessen sein wird. Solche Vollkornbrote gibt es. Mit demselben Namen werden aber auch Brote bezeichnet, die gereinigt und dekortiziert sind, wobei man angeblich nur die Fruchtschale abtrennt. Außerdem kommen aber auch wieder Vollkornbrote vor, die nach meinen Untersuchungen so stark geschält und ausgemahlen worden sind, daß sie kaum einer sonst üblichen Ausmahlung von 80 Prozent entsprechen. Auch im Auslande sind die Bezeichnungen ebenso unklar wie bei uns. Angeblich versteht man unter „Whole meal flour" in England ein Mehl aus ganzem Korn, man nennt es in Amerika Grahammehl. Tatsächlich wird aber auch Mehl aus dekortiziertem Getreide mit dem gleichen Namen belegt. Dafür wird umgekehrt ein aus dekortiziertem Getreide hergestelltes Mehl in Amerika auch „Antire wheal flour" genannt, was zu einem Mißverständnis herausfordert.

Die einzelnen Abstufungen der Ausmahlung sind auch so verschieden, daß es einer besonderen Erfindung bedürfte, um alle Prozesse mit besonderen Namen zu belegen. Ich habe gezeigt, daß die Vermahlung alles umfassen kann, was das vom Acker kommende Getreide enthält, Korn, Unkrautsamen und Schmutz, es kann sich weiter handeln um gereinigtes und völlig zermahlenes Getreide, ferner um gereinigtes Korn, welchem nur ein Teil der Schalen genommen ist (Growittbrot oder wirklich entschältes Brot mit nachherigem Keimlingszusatz) oder einfach entschältes oder um die Vermahlung von gereinigtem ungeschälten Korn unter Beseitigung der Kleie nach dem Hochmüllereiverfahren. Aus allen diesen Gruppen einiges als Vollkorn zusammenzufassen, geht gar nicht an, weil man dabei höchst ungleichwertige Produkte unter einen Hut zu bringen gezwungen würde.

Bei dieser Sachlage berührt es einen eigenartig, wenn in der halbpopulären, aber auch in der medizinischen Literatur, und zwar von Personen, die sich als einzige Kenner des Vollkornbrotes aufspielen, alle möglichen gesundheitlichen Vorteile des Vollkornbrotes gepriesen werden oder wenn von Kunert eine Agitationsschrift in Tausenden von Exemplaren in die große Masse geschleudert wird, obschon nachweislich manche Vertreter dieser Richtung sogar recht wenig kleiearme Brote, ohne es zu ahnen, für echte Vollkornbrote halten und empfehlen. Wenn wirklich nur echtes Vollkornbrot ganz besondere gesundheitlichen Wirkungen erzielt, so sind die besonderen Wirkungen vielfach nur eingebildete gewesen, weil das Verzehrte eben kein Vollkornbrot war, und wenn die Vollwertigkeit in einem hohen Kleiegehalt besteht, so sind viele Sorten Schwarzbrot, wie sie auch vielfach schon bisher als Hausbrot genossen wurden, ohne daß man ihnen bisher eine besondere Bedeutung beilegte, dem Vollkorn

gleichwertig, oder sie enthalten sicher bisweilen sogar noch mehr Kleiebestandteile als dieses.[1]

Ich brauche nicht weiter zu betonen, daß heutzutage, um eine objektive Handhabe zur Bevorzugung von „Vollkornbrot“ zu haben, der sogenannte Vitamingehalt herhalten muß, obschon die Vitaminlehre gerade mit Hinsicht auf das Brot weit mehr Zurückhaltung erfordert, als mancher glaubt. Wenn ich dazu, und zwar zum Teil in etwas kritischer Weise, Stellung nehme, so geschieht das nicht als eine Ablehnung dieser sehr bedeutsamen Fragen, vielmehr nur um die willkürlichen Behauptungen da auszuschalten, wo der ganzen Sachlage nach eine Vitaminwirkung als Krankheitsursache bei Brotgenuß nicht vorhanden sein kann. Die Wirkungen feinsten Weizenbrotes in ausschließlicher Fütterung sind mir wohlbekannt, da diese Experimente in meinem Laboratorium von demselben Autor, der sie bei Hofmeister ausgeführt hat, fortgeführt worden sind. Nur bin ich nicht in der Lage, Näheres mitzuteilen, weil der Krieg den Autor und sein Material mir unzugänglich gemacht hat.

Ich habe aber schon auseinandergesetzt, daß es irrig wäre, von einer Kleiefreiheit auch der feinsten Mehle zu reden, überallhin wird die Kleie versprengt; über Grad und Menge der erforderlichen Zumischung ist uns zurzeit nichts Sicheres bekannt. Ebensowenig steht fest, ob nur ein bestimmter Teil der Kleiezellen wirksam ist und welcher.

Man hat dabei an die verschiedene Natur der Eiweißstoffe gedacht. Die Eiweißstoffe des Endosperms enthalten bekanntlich die zwei Eiweißstoffe Glutelin und Gliadin, welch letzteres in mäßig konzentriertem Alkohol löslich ist.

Versuche von C. Thomas haben zuerst nachgewiesen, daß der biologische Wert dieses Eiweißes kein vollkommener ist. Th. B. Osborne und Mendel haben später durch Fütterungsversuche mit reinem Gliadin gezeigt, daß Tiere auch damit nicht wachsen, sondern erst, wenn man Lysin und Tryptophan zugibt. Röhmann[2] glaubt annehmen zu dürfen, daß die fehlenden Atomgruppen des Gliadins in den Kleiezellen sich finden, da doch bei der Entwicklung des Embryos neues Eiweiß entstehen muß. Durch die Untersuchungen von Haberlandt ist erwiesen, daß die Kleiezellen sekretorische Organe sind und Diastase liefern. Ihr Inhalt ist aber noch vorhanden, auch wenn das Wachstum der Keimlinge schon weit

---

[1] Dies gilt sicher für Schwarzbrot vom Lande, von dem 17·66 Prozent der Kalorien nach meiner Untersuchung zu Verlust gehen. Ähnliches gilt ferner für manches Kleinbrot in Süddeutschland, das aus den späteren Ausmahlquoten des Weizens hergestellt wird.

[2] *Berliner klin. Wochenschr.* 1916. Nr. 5.

vorgeschritten ist. Erst dann zerfallen diese sekretorischen Zellen. Demnach kann die Annahme, daß die Pflanze dieser Zufuhr als besonderer Ergänzungsstoffe für ihr Wachstum bedarf, nicht als erwiesen angesehen werden. Für das Tier könnten die Verhältnisse ja anders liegen.

Verfolgt man aber die im vorliegenden begründeten Gedanken weiter, so käme man eher zur Annahme einer Einwirkung etwa des Keimlingseiweißes auf die Gesamtvollwertigkeit. Da die Kleie bei der üblichen Vermahlung auch den Keimling einschließt, so wäre dann erst zu entscheiden, wo eine solche wirksame Substanz sitzt, und bei der Wahl zwischen Kleiezelleneiweiß oder Keimlingseiweiß wäre es möglich, daß das letztere als das biologisch wichtigere auch funktionell für den Eiweißersatz bedeutungsvoller wäre. Daraus würden sich dann besondere Aufgaben für die Art der Ausmahlung ergeben. Eine Reihe von Vollkornbroten mit Entschälung würden dann minderwertig sein müssen, und Vermahlungen ohne Entschälung und Entkeimung wären dann die rationellsten.

Man sieht, selbst unter der Annahme eines besonderen Bedarfes an Ersatzstoffen ist die Frage nicht geschlossen, sondern noch eine vollkommen offene.

Versuche aus der neuesten Zeit[1] geben für die Wirkung der Vitamine (des Orypans) wieder eine andere Richtung, insofern sie denselben eine Wirkung auf die Sekretion aller untersuchten Drüsen des Verdauungskanales zuschreiben, sie wären also Drüsenreizstoffe, die zu den Verdauungsprozessen in enger Beziehung ständen. Dann würde allerdings die Beobachtung, daß die einseitig ernährten Tiere, wie ich mich selbst überzeugt habe, schließlich genau das Bild des Verhungerns zeigen können und entsprechend an Gewicht abnehmen, nicht unverständlich. Die Rolle dieser Stoffe würde dann allerdings eine ganz andere sein, als man bisher angenommen hat, der vikariierende Ersatz von Kleie durch Eier, Fleisch, Käse würde eine allerdings einfache Erklärung finden.

Auch in dieser Hinsicht bleibt die Frage offen. Jedenfalls sind wir heute nicht in der Lage, aus der Vitaminlehre heraus bestimmte Schlußfolgerungen für eine anderweitige Herstellung unserer Brote zu ziehen.

Ebensowenig läßt sich irgend ein Grund angeben für die Wahl zwischen Roggen und Weizen aus gesundheitlichen Gründen, eher läßt sich, was Ausnützung und Nahrungsstoffgehalt, Backfähigkeit usw. anlangt, vieles zugunsten des Weizens sagen. Wie sehr hier die Gewohnheit entscheidet, sehen wir bei den Kriegsgefangenen, die ihr heimatliches Brot zu erhalten trachten. Aus der Vitaminlehre kann man nicht einmal die Notwendigkeit

---

[1] Uhlmann, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. LXVIII. S. 425.

eines Einheitsbrotes ableiten, es würde ihr vollkommen entsprechen, wenn man, wie das ja tatsächlich geschieht, feines Mehl zu kleinen Gebäcken und Mehlspeisen verwendet und der Rest zu Brot verbacken wird, denn es würde vollkommen einwandfrei sein, die Kleie auf einzelne Mahlprodukte zu verteilen, vorausgesetzt, daß alle Produkte der Ausmahlung von den einzelnen aufgezehrt werden. So entscheidend nach mancher Richtung der Zellmembrangehalt für das ganze Verhalten der Brotarten ist, so läßt sich vorläufig noch nicht bestimmt sagen, ob man Vollkornbrot nach Maßgabe des Zellmembrangehaltes definieren könnte. Bisher ist das mir zur Verfügung stehende Material nicht ergiebig genug, um den Einfluß der natürlichen Schwankung des Roggens an Zellmembran auf die Ausmahlungsprodukte bestimmen zu können. Meine Werte weisen darauf hin, daß wohl rund 9 Prozent Zellmembran sich finden können. Was darunter lag, gehört nicht zum Begriff Vollkorn.

Meine Werte für den Zellmembrangehalt der Brote sind nie so hoch, wie sie vielleicht erwartet werden konnten. Wenn man die Zahlen über den Zellmembrangehalt der einzelnen Brotsorten und die Zellmembran aus ganzem Korn[1] betrachtet, so sind die Werte viel geringer als die Angaben über die Schalenmenge nach Fleurent u. a. 14 bis 16 Prozent ,,Schalen“ werden bei exakter Analyse nie erhalten. Dies hängt natürlich damit zusammen, daß die älteren Angaben sich nur auf möglichst auf mechanischem Wege gesäuberte Kleieanteile beziehen, diese aber noch immer eine erhebliche Menge von Asche, Stärke und Eiweiß einschließen.

Demgemäß ist auch die Ausbeute an verdaulichem Material von Roggen in meinen Versuchen viel größer, als man auf Grund der älteren Annahmen von Fleurent hätte erwarten sollen; die vermehrte Ausbeute hat aber, wie noch auseinanderzusetzen sein wird, ihre gewissen Übelstände und Nachteile.

Immerhin wurde schon früher von mühletechnischen Seiten anerkannt, daß man allenfalls die übliche Ausmahlung überschreiten könne. Die übliche Ausbeute bei Weizen pflegt 75 Prozent, die des Roggens 65 Prozent des verwendeten Kornes zu sein; bei Weizen folgen bei weiterer Ausmahlung noch 6 bis 12 Prozent eines dunklen Mehles (Nachmehl), von dem angenommen wird, es könnte **helfen,** die Ausbeute an Mehl noch erhöhen.[2] Aus meinen Ergebnissen, welche zeigen, daß gereinigtes und geschältes Korn weitgehender Ausmahlung besser sein kann als Mehl bei anderweitiger geringerer Ausmahlung, scheint hervorzugehen, daß die Schälung, besonders

---

[1] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 130.

[2] Vgl. bei Maurizio, a. a. O. S. 157.

mit Wiederverwendung des Keimlings, eine bessere Scheidung zwischen Kleie und Mehl gibt und die leichter verdaulichen Materialien vollkommen von den schwer und halbverdaulichen scheidet. Es liegt aber die Gefahr nahe, daß die Kleberschicht erheblich verletzt wird. Meine Versuche können nicht beanspruchen, in einer solchen mühlentechnischen Frage entscheidend zu sein, jedenfalls aber sollten die hier gegebenen Gesichtspunkte einer geeigneten weiteren Prüfung unterzogen werden.

Es gibt eine Not an Nahrungsmitteln, die gebieterisch die höchste Ausbeute an verdaulichen Nahrungsstoffen erfordert; die erste und wichtigste Maßregel in Notzuständen ist vom ernährungsphysiologischen Standpunkt die Deckung der Kalorienbedürfnisse, also die Hilfe in der größten Ausnützung der Nahrung. Erst in zweiter Linie steht die Befriedigung des Eiweißbedürfnisses. Ich habe auf diese Notgesetze in diesen Kriegszeiten oft hingewiesen, ohne richtig verstanden worden zu sein. Es wird später Gelegenheit sein, diese Richtlinien ernährungsphysiologisch zu begründen. Sie als allgemeine Grundsätze der Volksernährung hinzustellen, wäre aber ein grober Irrtum, was vorübergehend zu billigen ist, kann recht wohl auf die Dauer unerlaubt sein.

So wird auch der Gedanke des Einheitsbrotes aus maximalster Ausmahlung usw. wieder von der Bildfläche verschwinden. Das Einheitsbrot ist aber bekanntlich eine Brotform, die allgemein gar nicht zur Anwendung kommen kann, weil seine Wirkungen auf die Menschen vielfach so nachteilig sind, daß auch jetzt noch nebenbei Brot von geringerer Ausmahlung bereitgestellt werden muß, weil ohne diese Hilfe sehr bedenkliche Folgen gesundheitlicher Art sich ergeben.

Dies wird noch auffälliger, wenn das Einheitsbrot den höchsten Ausmahlungsgrad besitzt, wie es jetzt der Fall ist; wir wissen aus der Kriegszeit, daß das Bedürfnis nach Vollkornbrot in der Bevölkerung sehr gering war. Der Verbrauch für die Befriedigung solcher Sonderwünsche hat, wie mir berichtet wird, etwa 1000 Tonnen Getreide pro Monat nur wenig überschritten. Das sind also, wenn die Angabe richtig ist, verschwindende Mengen im Verhältnis zur Gesamternährung. Es ist daher der ganz überwiegende Teil der Bevölkerung unter neue Ernährungs- oder Verdauungsbedingungen gestellt worden, um mit den Kornmengen auszukommen. Man ist auf Kosten der Verdaulichkeit zu einer Gleicherhaltung der Brotmenge übergegangen, also unter Einbuße von Nährwert. Der Gesichtspunkt Vermehrung der Nahrung ist also nur beschränkt bei diesen Kriegsmaßnahmen anzuerkennen. Vom reinen Quantitätsstandpunkt und der Deckung der Kalorienbedürfnisse kann man sich nicht in allen Fragen ausschließlich leiten lassen. Auch für die Ausmahlungsfrage können noch

andere Gesichtspunkte zu ihrer Beurteilung herangezogen werden. Wenn man in Notzuständen auch sagen muß, Vermehrung der verdaulichen Nahrung ist das erste Ziel, so ist doch, wir wissen das recht wohl, dieser Satz nur bedingt richtig, denn die allgemeine oder Volksernährung ist ebensowenig wie die Individualernährung ein reines ausschließliches Stoffwechselproblem. Mit einer gesunden Nahrung muß zwar das Stoffwechselproblem gelöst sein, aber die Ernährung muß stets ihre diätetischen Aufgaben lösen durch Gewinnung von verschiedenen Nahrungsmitteln und ihrer richtigen Darbietung. Wenn es auch möglich ist, viele Nahrungsmittel durch andere zu ersetzen, wenn man auch im Notfall dazu greifen wird, so ist doch der Ausfall bestimmter Nahrungsmittel keineswegs so ohne jede Rückwirkung auf die allgemeine Gesundheit. Es lassen sich z. B. auf die Dauer nicht die fetthaltigen Nahrungsmittel ganz durch stärkereiche ersetzen, ohne zu Mißständen, Störungen und Schäden zu führen. Und ebenso kann die Erwägung Platz greifen, ob es nicht notwendig ist, entgegen dem allgemeinen Sparprinzip, doch beschränkte Anteile menschlicher Nahrung der Tierzucht zu überweisen, um dadurch eine Umwertung der Produkte, wenn auch mit Verlusten, zu erzielen.

Diese Umwertung wird zwar als ein unerlaubter Verlust angesehen und als ein Luxus; als allgemeines Prinzip, die Umwertung pflanzlicher menschlicher Nahrung in Tierprodukte zuzugestehen, habe ich dies Vorgehen stets bestritten, doch lassen sich Tatsachen anführen, welche wenigstens in beschränktem Maße gelegentlich eine Lockerung des Prinzips richtig erscheinen lassen. Ein Beispiel hierfür ist die Milchproduktion. In der Bevölkerung gibt es zahlreiche Individuen, die unter dem Verzicht eines Nahrungsmittels, wie die Milch z. B., leiden und bei Deckung der Nahrung auf anderem Wege Schaden nehmen. Unter diesem Gesichtspunkt kann die Abgabe eines Teiles menschlicher Nahrung zur Milchproduktion gerechtfertigt sein. Solch ein Fall liegt bei der Verwendungsmöglichkeit der Kleie vor, welche, als Kraftfutter anderem Futter zugesetzt, in der Lage ist, erhöhte Beträge an Milch zu liefern. Hierbei kann sogar unter Umständen das ökonomische Prinzip gewahrt bleiben, falls z. B. das Einheitsbrot nicht nutzbringend, d. h. genügend verdaut, verwertet wird, während die Abgabe der Kleie die Milchproduktion erhöht und resorbierbarere Werte liefert. Der kriegswirtschaftliche Begriff formt sich hier zur gesundheitlichen Notwendigkeit um.

Die tatsächliche Lage der Versorgung mit Brotgetreide erfordert aber nicht einmal eine so minutiöse Auswertung der letzten Kalorien für die menschliche Ernährung, denn es ist erwiesen, daß in allen Jahren des Krieges niemals das Getreide für den Menschen so weit zur Ernährung

herangezogen worden ist, wie es den Ernten gemäß möglich war. Gerade das Vollkorneinheitsbrot hat mit der Sperre aller Kleie für die Landwirtschaft notgedrungen der Verfütterung des Kornes Vorschub geleistet, also Nahrung dem Menschen entzogen. Der Landwirtschaft würde durch Lieferung von Kleie das entsprechende Äquivalent von Korn entbehrlich sein, den Menschen aber würde ein besser assimilierbares, und immerhin keineswegs überverfeinertes Mehl zur Verfügung gestellt werden können.

Die übertriebene Einengung des menschlichen Getreidekonsums hat zur Verschlechterung des Brotes, so auch zu einer Reduktion der resorbierbaren Nahrung geführt; ein zielbewußtes Vorgehen mußte eine zweckmäßige Scheidung der Produkte für Mensch und Tier zu erreichen in der Lage sein.

Neben der Quantitätsfrage kommen aber noch andere wichtige Gesichtspunkte in Betracht.

Über die Wohlbekömmlichkeit sind die Meinungen der Konsumenten selbstredend sehr verschieden. Es fragt sich aber, ob man unter diesen Worten nicht einige faßbare Eigenschaften finden kann. Wohlbekömmlichkeit ist ein Begriff, der, namentlich aus der Laiensprache entlehnt, allen möglichen Vorstellungen über Wert und Unwert des Brotes sich anpassen kann. Näher umschrieben, bedeutet das wohl auch gesundheitsmehrend, d. h. er betrifft, angewandt auf das Brot, das ganze Füllhorn besonderer Eigenschaften, die in der halbpopulären Literatur dem Brote zugeschrieben sind. Beschränkt man sich auf die im Laufe der Verdauung vorkommenden Erscheinungen, so mag der Ausdruck als gleichbedeutend mit Ertragbarkeit gebraucht werden. Unter dieser Voraussetzung kann man sagen, daß bei ausschließlicher Broternährung mit der Zunahme der Kleie im Brot das fälschlich als Sättigung bezeichnete Gefühl zunimmt, von dem schon erwähnt wurde, daß es mit steigendem Reichtum an Zellmembranen bis zu Magenbeschwerden und Störungen sich steigern kann.

Objektiv feststellbar ist weiter die Zunahme der Gasbildung; daß erhöhte Gasbildung zu der Steigerung der Wohlbekömmlichkeit zu rechnen wäre, hat man bis jetzt noch nicht allgemein anerkannt und wird es auch nicht anerkennen.

Die dritte objektiv feststellbare Veränderung bei dem Einheitsbrot ist die starke Zunahme der Kotmasse, die den durchschnittlichen Bedarf einer täglich mehrmaligen Defäkation erforderlich zu machen pflegt. Auch diese Erscheinung kann nicht als Wohlbekömmlichkeit oder deren Steigerung bezeichnet werden.

Bei der allgemein üblichen Ernährung des Volkes kann man sagen, daß namentlich die Beschaffenheit des Brotes, d. h. sein Kleiegehalt, zum ausschlaggebenden Faktor der Kotbildung wird, wenn man von den Ausnahmefällen der Aufnahme der Hülsenfrüchte oder des Obstes mit Kern und Schalen einmal absieht. Auch bei der relativ kleinen Brotmenge der Kriegszeit ist dieser Einfluß auf die Kotentleerung sehr bemerkbar und steigert sich bei den Brotzulagen noch mehr. Für den menschlichen Darm sind die Gemenge von Mehl und Kleie, wie sie jetzt verzehrt werden, über das Maß des üblichen Füllungsraumes des Darmes hinausgehend und dadurch also belästigend und unbequem, besonders für den Städter, der im üblichen Leben diese Funktionen einzuschränken wünscht.

Die vierte Veränderung betrifft endlich die starke Eindickung des Kotes, welche die Kotentleerung schwieriger machen und die Kraft der Bauchpresse mehr zu beanspruchen in der Lage ist. Es hängt das mit der außerordentlich großen Anreicherung des Kotes mit Zellmembran zusammen, die bis zu 35 bis 38 Prozent der Trockensubstanz der ganzen Kotmasse nach meinen Analysen ausmachen kann.

Von einer Akkommodation und Änderung der Bekömmlichkeit mit der Dauer der Brotkostperiode habe ich nichts nachweisen können, auch ist von anderer Seite ein solcher Beweis weder erbracht noch einwandfrei konstatiert worden. Auch R. O. Neumann hat bei seinen langdauernden Versuchen derartiges nicht beobachtet.

Die Verarbeitung des Kornes in der Mühle muß auch vom Standpunkt der Herstellung eines schmackhaften Brotes betrachtet werden. Eine solche Herstellung gelingt nicht in allen Fällen der Vermahlung, im besonderen ist der Verbleib des Unrates und Schmutzes im engeren Sinne nachteilig für den Genußwert des Brotes. Beim Kauen macht sich die Beimengung relativ geringer Mengen von Schmutz bemerkbar. Der Wohlgeschmack ist für die Befriedigung des Appetits von Bedeutung und für die Zufriedenheit, die auch ein einfaches Mahl bieten kann.

Der Geschmackswert, auf den von der Zentralstelle der Getreideversorgung gar kein Wert gelegt wird, muß für jede hygienische Bewertung wohl beachtet werden; für die Gesundheitslehre kann auf diese wichtigsten Zusammenhänge für die Zukunft kein anderer Maßstab wie bisher angelegt werden. Verringerung des Geschmackswertes ist eine Unkultur, die auch vom Standpunkt des allgemeinen Ernährungswesens zu bekämpfen ist. Sie nötigt zu dem bedauerlichen Gebrauch von Aufstrichmitteln für Brot und zu dem Zurückdrängen des einfachen Brotgenusses überhaupt. Durch die schlechte Beschaffenheit des Kriegsbrotes hat sich der Gebrauch der Marmelade über ganz Deutschland ausgebreitet, der Kriegsaufstrich

wird später höchstwahrscheinlich durch Fett ersetzt, ein Vorgang, der nicht als günstige Entwicklung der Volksernährung betrachtet werden kann. Ich habe schon vor dem Krieg auf das Unzweckmäßige hingewiesen, das in der Verstärkung der Zwischenmahlzeiten zuungunsten der Hauptmahlzeit liegt. Der Geschmack des Brotes kann sehr leicht durch die Zubereitung und Zusätze gestört und verschlechtert werden. Wenn man Roggenbrote, aus Mehl verschiedener Ausmahlung hergestellt, betrachtet, so geben sie Brot von ganz verschiedenem Geschmack. Am würzigsten schien mir bei Roggen stets eine Ausmahlung bis etwa 80 Prozent, während die geringere von z. B. 65 Prozent zwar viel weißeres, aber zweifellos nicht so wohlschmeckendes Brot liefert. Zusätze anderer Substanzen ändern leicht den Geschmack, besonders auffallend war diese Verschlechterung des Geschmackes bei Zusatz von gepulverten Spelzen und aufgeschlossenem Stroh. Auch die Finklerkleie vermindert den Wohlgeschmack. Sehr günstig stellte sich das Klopferbrot. Wahrscheinlich verdankt es gerade diesen Eigenschaften seinen erheblichen Kundenkreis. Das Kriegsbrot entbehrt dieser Vorzüge. Auf die Backweise hier einzugehen, ist nicht beabsichtigt.

Die Brotfrage ist aber kein Reservat für den Roggen, weder aus Gründen besonderer Vorzüge dieser Frucht, noch auch mit Rücksicht auf die Erträge der Landwirtschaft an Weizen. Der letztere wird daher ebensogut seine Berücksichtigung finden müssen. Wenn man die Verhältnisse nicht mit einer unberechtigten Voreingenommenheit betrachten will, so wird man erwarten müssen, daß man im Frieden bei freier Brotversorgung wieder zur alten Backweise, d. h. zur Differenzierung des Gebäckes, kommen wird, ob in dem gleichen Maße wie früher, das mag der Zukunft vorbehalten bleiben. Diese Sitte hat bei steigendem Wohlstand auch der Arbeiterklasse dahin geführt, daß in diesen Kreisen der Verbrauch von Kleinbrot sich ganz besonders und über Gebühr eingebürgert hat. Als man noch glaubte, durch Predigen von Vernunft gegen den übermäßigen Konsum von Weißbrot ankämpfen zu können, ist man gerade in diesen Kreisen der sogenannten Minderbemittelten auf den größten Widerstand gestoßen. Im übrigen hatte die Differenzierung des Brotes auch seine soziale Seite. Bei der Teilung der Ausmahlung in feine Luxusbrote und in das Schwarzbrot war der Preis des ersteren sehr hoch, so daß bei dem Schwarzbrot auf Kosten des Weißbrotes eine Verbilligung eintreten konnte. Diese Selbstbesteuerung der Konsumenten fällt zweifellos für die wirklich Minderbemittelten wohl ins Gewicht. Ob wir uns auf die einheimische Produktion mit überwiegend Roggen beschränken werden oder die Handelsbedürfnisse sich anders gestalten, steht hier nicht zur Besprechung.

Keinesfalls sollte man aber vergessen, daß die stark ausgemahlenen Mehle an sich und der Roggen im besonderen zurzeit eine wichtige Ernährungsweise unterbinden, die Herstellung der Mehlspeisen und Teigwaren u. dgl., und daß es durchaus unerwünscht wäre, die Ergänzung unserer Kost in dieser Hinsicht hemmen und unterbinden zu wollen.

Wenn auch durch die vorstehenden Untersuchungen über das Roggenbrot die Ausnützungsfrage jetzt auf eine bessere Basis gestellt und das angeblich verschiedene Verhalten des Brotes verschiedener Herstellung geklärt worden ist, so möchte ich doch die Beziehungen zwischen Roggen und Weizen nicht ganz außer acht lassen, weil diese Seite des Problems gerade für die Volksernährung und speziell für die Ernährung auf dem Lande in vielen Teilen Deutschlands von großer Bedeutung ist. Außerdem habe ich auf meine übrigen hierher gehörigen, auch älteren Versuche vergleichsweise einzugehen. Ich habe dann später auch nach Möglichkeit die Versuche anderer Autoren, soweit sie noch keine Berücksichtigung haben finden können, nach geeigneter Kritik und Umformung zum Vergleich herangezogen.

In nachfolgender Tabelle S. 109 habe ich zunächst die Resultate meiner Untersuchungen über Weizen- und Roggenmehl verschiedener Ausmahlung zusammengestellt und zu den neuen Ergebnissen auch noch meine früheren gefügt.

Die Aufrechnung der älteren Versuche nach Kalorien fußt auf meiner Beobachtung, daß die Verbrennungswärme der organischen Substanz der Brotarten außerordentlich nahe übereinstimmend war und daß auch für die organische Substanz des Kotes sich aus meinen so zahlreichen direkten Bestimmungen der Verbrennungswärme Mittelwerte einführen lassen, welche einen durchaus zureichenden Grad der Genauigkeit besitzen. Soweit bekannt, habe ich die Ausmahlung und in den meisten Fällen den Zellmembrangehalt angeführt. Einige Versuche, die vollkommen mit aufgeführten Beispielen übereinstimmen, habe ich beiseite gelassen. Die Tabelle ergänzt sich durch die Weizenversuche und einen Versuch über Gerste.

Das Gesamtresultat läßt ersehen, daß der Prozentverlust an Kalorien bei Weizen- und Roggenbrot, vorausgesetzt daß der Zellmembrangehalt des Brotes 8·75 Prozent nicht übersteigt, höchstenfalls 15 bis 16 Prozent erreicht; bei Roggenbrot war bei der geringsten Ausmahlung, das heißt 65 Prozent, wie sie gewöhnlich geschieht, der Verlust 9·8 Prozent, noch feineres Roggenmehl habe ich nicht erhalten können. Die Mehrung des Verlustes wird man zunächst in dem Bestandteil des Mehles suchen

Brot aus	Angebliche Ausmahlung	Zellmembran in Proz. der Trockensubst.	Verlust an Kalorien	Verlust an Stoffwechselprodukten	Verlust an Unverdaulichem	Verlust an N	Verlust an Protein	Verlust an Zellmembran	Der Kot enthält Zellmembran in Proz.
Weizen	95	—	12·20	—	—	30·50	—	—	—
	70	—	6·10	—	—	24·60	—	—	—
	30[1]	—	4·00	—	—	20·70[2]	—	—	—
Weizen	80[3]	5·09	11·10	7·30	4·80	21·10	11·90	53·04	29·31
	30[4]	1·27	4·58	2·78	1·72	13·82	6·51	32·50	11·90
Gerste[5]	—	5·79	9·53	3·78	5·75	32·49	19·01	38·97	26·04
Roggen[6]	100	—	25·68	—	—	46·60	—	—	—
	95	—	16·16	—	—	36·60	—	—	—
Growitt[7]	95	8·75	14·80	7·50	7·30	39·30	25·90	47·00	33·80
	82	6·69	13·80	7·10	6·70	40·30	21·10	55·70	31·80
Roggen mit 10% Mais	94	6·46	15·00	5·75	9·35	39·68	20·99	57·10	30·75
	94	6·51	15·85	6·10	9·75	37·05	21·48	73·31	34·79
Klopfer	94	6·23	14·41	6·13	8·28	37·87	20·65	59·31	30·49
Mittel . .		6·58	14·56	6·27	8·52	38·72	21·05	63·85	31·96
	75[8]	4·54	11·35	5·37	5·98	30·52	17·74	67·43	30·74
	65[9]	3·14	9·80	5·68	4·12	37·80	19·50	48·10	19·62

müssen, der der am schwersten verdauliche ist in der Zellmembran, zumal er sich als Bestandteil in solchen Mengen im Mehle befindet, daß er die Steigerung der Verluste etwa decken könnte. Aber das Unverdaute ist mit zunehmendem Zellmembrangehalt nicht dem ersteren direkt entsprechend gewachsen, weil die Zellmembran ja doch bis etwas mehr als zu einem Drittel verdaulich ist, andererseits aber kann ja nur das Gemenge der Zellmembran an sich die Ursache für die Mehrung des Stoffwechselproduktes sein. Nur steigt der Verlust an Stoffwechselprodukten überhaupt, weil ja jede Nahrung, auch die zellmembranfreie, solche liefert, nicht proportional der Zellmembran, sondern in abnehmenden Verhältnissen.

---

[1] Ältere Versuche vgl. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIX. S. 48.

[2] Damit stimmen auch die anderweitigen Versuche mit Weizenmehl vom Jahre 1877 überein.

[3] Versuch mit Karamehl vgl. *dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 61.

[4] Versuche mit feinem Weizenmehl vgl. *ebenda.*

[5] *Ebenda.* 1916. S. 329.

[6] Wicke, *Arch. f. Hyg.* 1890. S. 335.

[7] a. a. O. S. 1916. S. 170.

[8] S. o. S. 295.

[9] *Ebenda.* 1916. S. 180.

Der Zellmembranverlust ist relativ gering bei geringerer Ausmahlung des Mehles, sofern die Zellmembran des Mehlkernes überwiegt, und wird größer mit der Zunahme an Kleie aus der Frucht- und Samenschale.

Dem Verständnis der Wirkung des zunehmenden Gehaltes an Zellmembran, d. h. höherer Ausmahlung, wird folgende Darstellung noch näherkommen. Ich habe für die verschiedenen hier in Frage kommenden Versuche berechnet, wieviel von 100 g Trockensubstanz der Zufuhr in absoluten Zahlen zu Verlust geht, wobei 4 Versuchsreihen bei Roggen, die sehr nahe im Zellmembrangehalt übereinstimmen, zusammengelegt worden sind.

Berechnet für 100 g Trockensubstanz:

Einnahme:

N	Kalorien	Stärke	Zellmembran	Asche
1·03	414·1	84·4	3·14	0·85
1·55	418·4	75·7	4·54	2·05
1·63[1]	427·0	75·1	6·47	2·39
1·56	413·3	71·6	8·75	2·06

Ausgabe:

Kot Trockensubstanz	N	Stoffwechselprodukte	Stoffwechselkalorien	Kalorien insgesamt	Stärke	Asche	Zellmembran
7·6	0·389	0·238	25·80	38·71	1·100	0·439	1·51
10·0	0·472	0·197	21·30	47·47	0·938	0·720	3·06
12·6	0·625	0·280	26·76	63·01	1·350	0·890	3·94
12·1	0·547	0·198	30·93	61·03	1·030	0·884	4·11

Gewisse Ungleichheiten sind natürlich nicht auszuscheiden, weil die Versuche zum Teil an verschiedenen Personen, an Material verschiedener Herkunft und auch in einem Falle (Brot mit 8·75 Prozent Zellmembran, Growittbrot) bei feuchter Vermahlung gewonnen sind. In jedem Falle sind aber mindestens zwei Reihen von einer Woche Dauer an zwei Personen

[1] Mittel aus folgenden Versuchen:

1·61	432·8	84·2	6·69	2·08	11·6	0·628	0·273	30·27	59·72	1·10	1·000
1·59	424·8	73·4	6·46	2·10	13·1	0·630	0·307	25·01	63·72	1·87	0·954
1·65	426·3	71·1	6·51	2·60	13·7	0·610	0·255	25·61	67·56	1·51	0·689
1·67	424·2	71·7	6·23	2·81	11·9	0·632	0·285	26·18	61·05	0·94	0·918

zugrunde gelegt. Die einzelnen Ergebnisse mögen für sich erörtert werden. Die Zunahme des Trockenkotes und der Kalorien des Kotes mit zunehmendem Kleiegehalt ist nach allem, was darüber schon anderweitig gesagt wurde, selbstverständlich. Nur ist bemerkenswert, daß die feuchte Vermahlung eine weitere Steigerung gegenüber Brot mit 6·47 Prozent Zellmembran nicht erkennen läßt. Ähnlich verhält es sich mit der N-Ausscheidung. Auch hier ist die feuchte Vermahlung deutlich etwas günstiger als die trockene Vermahlung in den anderen Versuchen; die Hauptursache liegt, wie Stab 3 der Ausgabe zeigt, darin, daß der Anteil des Stoffwechsel-N bei feuchter Vermahlung gering ist. Die Stoffwechselkalorien zeigen einige Schwankungen, doch ist unverkennbar eine Zunahme mit dem Anwachsen der Kleie und zwar auch bei dem nassen Mahlverfahren vorhanden. Zu dem gleichen Resultat kommt man, wenn von dem Verlust an Gesamtkalorien nur der Kalorienwert der Zellmembran abgezogen wird. Man erhält dann in derselben Reihenfolge, wie die Tabelle geordnet:

32·54 Kalorien
34·63 „
46·86 „
44·20 „

Auch hier bei der feuchten Vermahlung trotz hohen Zellmembrangehaltes keine weitere Steigerung, demnach kann man annehmen, daß die Zerquetschung der Zellmasse durch die feuchte Vermahlung einen geringeren Einfluß auf den Darm ausgeübt hat als die übrigen Arten der trockenen Vermahlung, sei es mit oder ohne Schälung. Dagegen ist, wie aus der Tabelle S. 353 hervorgeht, keineswegs anzunehmen, daß das Protein selbst erheblich besser verdaut wird. Die Zellmembran des Roggens, der bei Growittbrot Verwendung fand, war bei trockener Vermahlung von anderem Roggen nicht verschieden, auch nicht der Stoffwechsel-N[1]; die bessere Lösung der Zellmembran ist also nicht in Anschlag zu bringen, auch nicht groß genug; dagegen scheint mehr ein mechanisches Moment wirksam, das in der Art des Zerreibens der feuchten Masse zwischen den Walzen gefunden werden könnte.

Bei dem hohen Gehalt an Stärkemehl — 76 bis 84 Prozent der Brotart — würde bei einer Störung der Resorption durch die Zellmembran die Verdaulichkeit der Stärke am ehesten diese zum Ausdruck bringen, wie man aber auch aus der Tabelle S. 354 sieht, ist die Verdaulichkeit der Stärke in allen Fällen fast genau dieselbe. Daraus folgt also, daß

---

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 193.

innerhalb des Rahmens der angewandten Ausmahlung, welche bis etwa 95 bis 96 Prozent nach üblicher Ausdrucksweise ging, ein Einfluß auf die Störung der Stärkeverdauung nicht ausgeübt, also die mit der erhöhten Ausmahlung dem Mehl zufließende Stärke vollkommen tadellos verdaut wird. Daraus muß auch geschlossen werden, daß die feinen Zellwände des Endosperms bei der Zermahlung entweder ganz zerrissen werden oder überhaupt leicht auflöslich sind; das letztere glaube ich durch meine Versuche bereits früher erwiesen zu haben.

Als Nachteil der starken Ausmahlung innerhalb der gegebenen Grenzen bleibt also, abgesehen von den Momenten, die bei der Bekömmlichkeit schon erwähnt worden sind, die zunehmende Erschwerung der Eiweißresorption durch das relative Überwiegen des N, der in den Kleberzellen gebunden ist. Von diesem Zellinhalt hat auch die Modifikation der feuchten Vermahlung, wie schon gesagt, keinen größeren Anteil zur Resorption bringen können. Der Vollständigkeit halber mag noch der Ascheverlust erwähnt sein. Mit der geringen Ausmahlung steigt der Aschegehalt der Mehle, das prägt sich in den Zahlen der Tabelle S. 354 nicht weiter aus, weil im Brote ja auch noch Kochsalz vorhanden ist. Aus den Ausscheidungen aber sieht man deutlich, daß mit Zunahme der Zellmembran auch der Ascheverlust erheblich zunimmt. Nur in der höchsten Stufe des Zellmembrangehaltes wächst die Aschemenge nicht weiter, weil offenbar auch das Brot selbst ascheärmer gewesen ist.

Zu einer allgemeinen Formulierung des Verlustes bei der Verdauung zellmembranhaltiger Brotnahrung geben die vorliegenden Werte noch keine Unterlagen. Dazu bewegen sich die Versuche noch in zu engen Grenzen der Variation der Zellmembran, und die zufälligen Momente, welche auf die Resultate einwirken, sind noch zu mächtig.

Es wäre sehr erwünscht im Interesse einer allgemeinen Formulierung, die Verluste mit Bezug auf den Gehalt an Zellmembran einerseits mit Brot geringen Zellmembrangehaltes und andererseits mit Brot weit höheren Kleiegehaltes durchzuführen.

Da Roggen sehr geringer Ausmahlung, also etwa 30 Prozent, nicht zu erhalten ist, glaube ich ergänzend die Versuche mit Weizen von 30 Prozent Ausmahlung verwenden zu sollen. Als Versuch für Mehle hohen Kleiegehaltes können nur die Kleiemehle herangezogen werden. Diese Mehle sind aber nicht für sich verbacken, sondern in ihrer Wirkung nur aus der Differenz zweier Versuche errechnet worden. Das bedingt insofern einen Fehler, als die von der Nahrung unabhängigen Stoffwechselanteile hier keine Berücksichtigung für die Kleie finden, man kann aber bei den an sich sehr großen Verlusten solcher Mehle darüber hinweg-

sehen. Zum Vergleich für das Extrem sehr starken Zellmembrangehaltes kann am besten der Versuch mit Finklerbrot gewählt werden, wenn auch dabei zu bedenken ist, daß die vorbehandelte Kleie etwas günstigere Resultate zeigte, namentlich bezüglich der N-Verwertung, wie die in den anderen Broten. Ich stelle nachfolgend diese ergänzenden Versuche zusammen. W. ist der Versuch mit Weizenmehl, R. jener mit Kleie aus Finklerbrot berechnet.

Für 100 g Trockensubstanz ist zu berechnen:

Einnahme:

	N	Kalorien	Stärke	Zellmembran	Asche
W.	1·83	423·8	74·8	1·26	2·30
R.	2·77	449·8	41·3	22·90	6·62

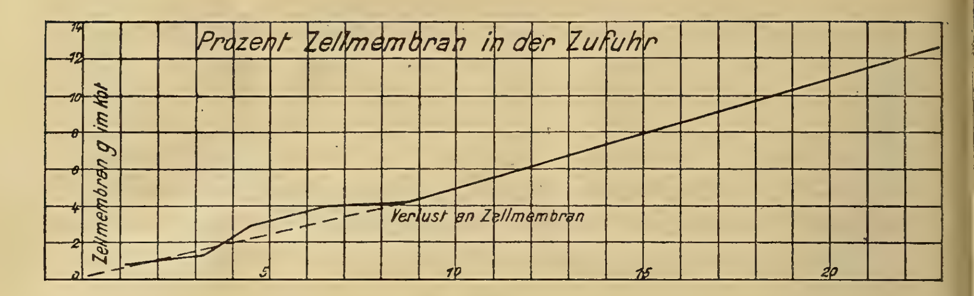
Ausgabe:

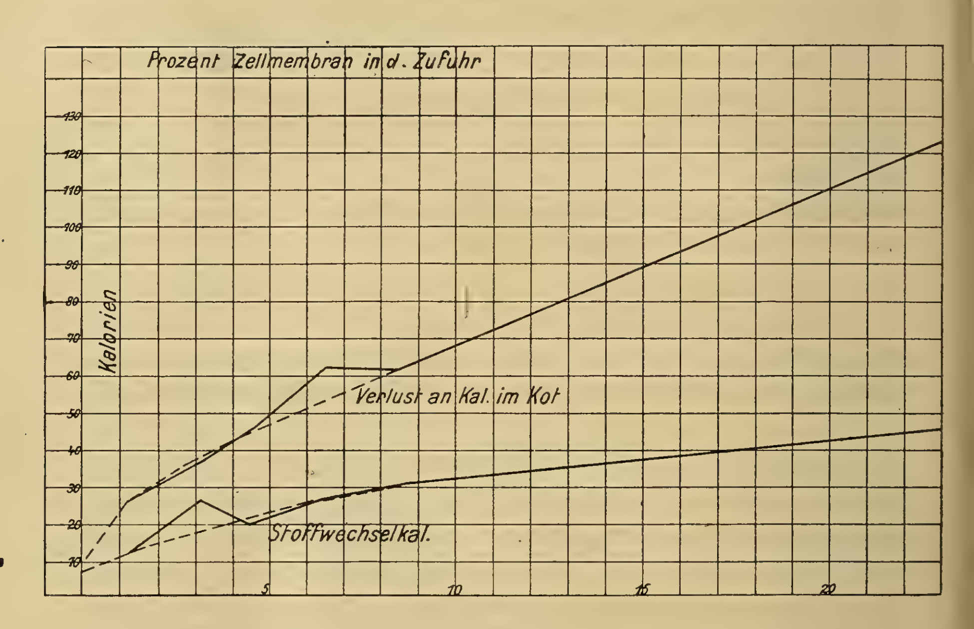
	Kot Trockensubstanz	N	Stoffwechselprodukte	Stoffwechselkalorien	Kalorien insgesamt	Stärke	Asche	Zellmembran
W.	4·16	0·241	0·087	12·63	26·1	0·26	0·406	0·91
R.	30·0	0·950	0·380	45·10	183·0	1·62	3·630	12·75

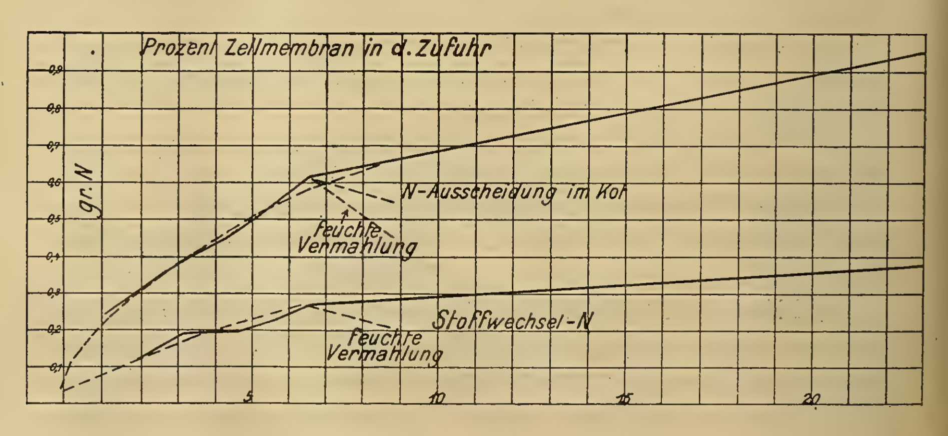
Aus den Zahlen ist ohne weiteres ersichtlich, daß nur die Beimengung von Zellmembran die Veränderung in den Verlusten an Material bedingt und sich nicht allein auf die Mehrung der Ausscheidung der Kleie, sondern auf N, Stärke und auf Stoffwechselprodukte ausdehnt. Die Zellmembran selbst wird in nicht wesentlich wechselndem Prozentsatz verdaut, ob nur ein paar Gramm den Tag aufgenommen werden oder ob große Mengen in der Nahrung enthalten sind. Am übersichtlichsten zeigt die nachstehende graphische Darstellung die Beziehungen der Verluste mit fortschreitenden Zunahmen der Zellmembran.

Die Figur umfaßt innerhalb eines Intervalles von 1 bis 23 Prozent Zellmembran die Variation der Ausscheidung. Die Schwankungen sind, wie erwähnt, oft erheblich, denn nichts ändert sich oder kommt als Ausdruck individueller Schwankung so in die Erscheinung wie die Zellmembranverdauung.

Die Menge der Kalorienverluste minimal bei reinen Stärkegaben oder den feinen Mehlen erreicht, wie man sieht, mit der Zellmembranzunahme innerhalb der in der Figur eingetragenen Gebiete einen Unterschied um das Sechsfache. Bestimmend hierfür ist aber nicht das Unresorbiert-


Prozent Zellmembran in der Zufuhr
Zellmembran g im Kot
Verlust an Zellmembran
0
2
4
6
8
10
12
14
5
10
15
20


Prozent Zellmembran in d. Zufuhr
Kalorien
Verlust an Kal. im Kot
Stoffwechselkal.
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
5
10
15
20


Prozent Zellmembran in d. Zufuhr
gr. N
N-Ausscheidung im Kot
feuchte
Vermahlung
Stoffwechsel-N
feuchte
Vermahlung
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
5
10
15
20

bleiben der Zellmembran, sondern die Beteiligung der Stoffwechselprodukte, welche nicht in konstanter Größe, sondern in zunehmender Menge bei Wachstum der Zellmembranbeigabe zu Verlust gehen. Der Verlust an Kalorien im Kot kann natürlich nicht auf Null absinken, wenn auch keine Zellmembran vorhanden ist, sondern er wird auf die Stufe der Stoffwechselprodukte schließlich anlangen. Wie man sich diesen Verlauf der Kurven etwa zu denken hat, ist mit den punktierten Linien angedeutet. Sie werden sich an einem bestimmten Punkt treffen, von diesem wird die Ausscheidung bei feinstem Weizenmehl nicht mehr weit abstehen. Ich bemerke, daß der Nullpunkt für die Menge der Stoffwechselprodukte aber keine Konstante sein kann, weil er von der Eiweißzersetzung abhängig ist. Um hier eine größere Zuverlässigkeit der Kurve zu erreichen, müßte die Zahl der Bestimmungen und die Zahl der verwendeten Versuchspersonen eine außerordentlich große sein, was vorläufig zu erreichen nicht möglich ist, auch vielleicht den Aufwand an Zeit für ein Problem, das sehr von zufälligen Einflüssen getroffen wird, kaum lohnt, zumal sogar Mahlweise und Backart als Varianten noch in Frage kommen könnten.

Bei dem N-Verlust im Kot steigt der Verlust anfänglich rascher mit der Zellmembranzugabe als später, aber die ganze Zunahme erweist sich eben von letzterer abhängig. Sie führt immer mehr schwer verdaulichen N zu, daneben hat aber in den gegebenen Beispielen die Mehrung des Stoffwechsel-N nicht im selben Maße sich gesteigert. Für den N gilt dasselbe wie für die Kalorien. Die N-Ausscheidung muß bei Ausschaltung der Kleie auf den reinen „Stoffwechsel-N" abfallen; wo die beiden Linien, die gestrichelt angedeutet sind, sich treffen, wird einerseits von den Stoffwechselprodukten bei zellmembranfreier Nahrung dieser Art abhängen und weiteres von der Höhe der Eiweißzersetzung.

Abweichend von den Werten der trockenen Vermahlung zeigt die Versuchsreihe über feuchte Vermahlung ein langsames Steigen des N-Verlustes, sowohl bei der Gesamtausscheidung als auch bei dem Stoffwechsel-N. Aus der Zusammenstellung des vorläufig verfügbaren Materials läßt sich also der Gang der Ausnützung in Abhängigkeit von der Masse der Zellmembran wohl übersehen, wenn auch nur in allgemeinen Zügen.

Ein Fall, bei welchem die Resorption der Zellmembran die Gesamtresorption benachteiligt, ist nicht mit beobachtet worden, er kommt, wie einzelne Beispiele zeigen, aber bei der vollen Vermahlung des Kornes zur Beobachtung. Immerhin bedingt die Zunahme der Zellmembran allmählich eine Steigerung des Verlustes an Stärke um das Zehnfache. Dieser Verlust wird dann so groß, daß er immerhin im Gesamtresultat die Ausnützung um 3 bis $3^1/_2$ Prozent mindert.

Die Ausscheidung an Asche sinkt nicht unter 0·406 g pro 100 g Trockensubstanz (abgeleitet aus Brotmengen, die den Bedarf an Kalorien fast decken) und nimmt mit der weiteren Zufuhr auch erheblich zu bis 3·63 g bei reiner Kleie. Wie man sieht, erscheint die Asche als ein die Bedürfnisansprüche stark überschreitender oder unresorbierbarer Nahrungsanteil.

Eine allgemeine Bemerkung über die Möglichkeit der Bestimmung des Anteils, welchen ein Teil eines Nahrungsmittels an der Gesamtverdaulichkeit nimmt, mag hier noch angefügt sein. Wenn man z. B. im konkreten Falle bei einer Ausmahlung von 94 Prozent noch einen Kontrollversuch mit einer Ausmahlung von 74 Prozent macht, so zeigt der Unterschied zwischen 94 und 74 Prozent Ausmahlung uns wohl an, um wieviel sich die Gesamtausnützung, auch die der einzelnen Bestandteile, verschlechtert hat. In Wirklichkeit liegt aber die Sache so, daß die Beimengung der kleiereichen Anteile auch auf die Resorption aller übrigen Bestandteile eingewirkt hat.

Aus den Einzeltabellen läßt sich nunmehr auch noch der physiologische Nutzeffekt des Brotes verschiedener Ausmahlung berechnen; zu einer kurzen Übersicht genügt im allgemeinen der prozentuale Kalorienverlust, zu einem genaueren und allgemeinen Vergleich wird man von dem physiologischen Nutzeffekt ausgehen, bei welchem von den Bruttokalorien der Einnahme der Harn- und Kotverlust in Abzug gebracht worden ist. Für den Harn (Gesamt-N, Kot-N) rechne ich als kalorischen Wert 1 g N = 8·0 Kalorien. Man erhält so die nachfolgenden Werte.

Für 100 g Trockensubstanz ist der physiologische Nutzeffekt des Brotes bei verschiedener Ausmahlung:

	Zellmembrangehalt	Kalorien	Darunter resorbierbare Zellmembran in Gramm
30 Prozent Ausmahlung . .	1·26[1]	385·0	0·35
65 „ „ . .	3·14	369·5	1·63
75 „ „ . .	4·54	362·3	1·48
Sogenanntes Vollkornmehl .	6·47	355·8	2·54
	8·75	344·2	4·64
Kleie[2]	22·90	302·1	10·15

Wie man sieht, nimmt der Nutzeffekt des Brotes mit zunehmendem Zellmembrangehalt immer weiter ab und erreicht etwa bei hoher Aus-

[1] Weizenmehl.

[2] In gut resorbierbarem Brot, nicht als Kleiebrot verzehrt.

mahlung, die aber noch nicht wirkliches Vollkorn ist, einen Abfall von 385 Kalorien auf 344 Kalorien. Bei einer solchen Berechnung begeht man aber noch eine Überschätzung, denn unter den ausgenützten Kalorien findet man, steigend mit geringer Ausmahlung, immer mehr Zellmembran, was etwa bei Vollkorn schon 5·5 Prozent der gesamten aufgenommenen Kalorien ausmacht, und auch kleine Verluste von Pentosan im Harn. Ein wirkliches Vollkornbrot ist mir nicht erhältlich gewesen, denn ein solches wird noch mehr Zellmembran als 8·7 Prozent enthalten. Man findet aber in der Tabelle auf S. 353 ein Beispiel bei einem Versuch von Wicke dafür, daß die rohe Vermahlung des ganzen Kornes für die dort aufgeführte Person über das Maß der erträglichen Resorptionsgrenze hinausging und starke Verluste von einem Viertel aller Kalorien herbeiführte, d. h. weit größeren Gesamtverlust zeigt, als wenn man schwach ausgemahlenes Getreide verbäckt und die Kleie restlos anderweitig verwendet.

Das Mitverbacken der Kleie mehrt die Kotsubstanz auch da, wo noch keine Störung der allgemeinen Resorption vorliegt, um ein Nahrungsgemenge, das erheblich ärmer an physiologischem Wert ist, zumal die Zellmembran, welche ja kein vollwertiger Nährstoff ist, 13·7 Prozent aller resorbierbaren Teile ausmacht. Die Bewertung hoch ausgemahlenen Brotes hängt ganz von dem individuellen Vermögen des Ertragens der Zellmembranen ab; die Erfahrung der Kriegszeit lehrt, daß man allgemein auf ein so weitgehendes Resorptionsvermögen nicht rechnen kann.

Die vorliegenden Ergebnisse veranlassen mich, ein paar Worte noch über die Behauptungen von Horace Fletscher dahingehend, daß das systematische und von ihm streng organisierte Kauen die Ausnützbarkeit der Nahrungsmittel wesentlich erhöhe, anzufügen, eine Behauptung, die in ihrer Allgemeinheit längst bekannt ist und für Geisteskranke oder Leute wie Neurastheniker, Leute mit weitgehendem Zahnmangel, welche alles möglichst rasch herunterschlingen, ihre Bedeutung hat. Ein gesunder und vernünftiger Mensch mit leidlich gut erhaltenen Zähnen verliert mit der Fletscherschen Regel nur unnötig Zeit. Die Versuche bei Brot zeigen, daß auch durch das Kauen in verstärktem Maße hier nichts mehr zu gewinnen ist. Was die beste Mühle nicht zermahlen kann, zermahlt auch nicht unser Gebiß. Eine erhöhte Verdaulichkeit könnte also nur noch durch die Zerkleinerung der Zellmembran gewonnen werden, diese ist aber bei den Zerealien eben eine vollkommen andere wie bei Obst und Gemüse und ihrer Natur nach in unserem Darm nicht weiter löslich, als es die vorliegenden Versuche zeigen. Viel wichtiger als die feinste Verteilung ist der bakterielle Eingriff, und diesen können wir nicht beein-

flussen, auch erfolgt er in größerem Umfange erst dort, wo im Darm die Stellen ausgiebiger Resorption schon überschritten sind.

Eine außerordentlich auffallende Tatsache scheint mir der Unterschied in der Verdaulichkeit der Eiweißstoffe zwischen Roggen und Weizen zu sein; ich habe darauf schon früher vermutungsweise aufmerksam gemacht, ein abschließendes Urteil war aber nicht möglich. Die Zahl der Weizenversuche ist allerdings auch jetzt nicht so groß wie die der mit Roggen ausgeführten. Immerhin lassen die Vergleiche keine andere Deutung zu.

Diejenigen Brote, welche man als Vollkornbrote bezeichnen kann, reichern den Kot außerordentlich stark mit den Resten unverdauter Zellmembranen an. Den höchsten Grad erreicht die Zellmembran als Kotbestandteil bei dem Kriegsbrot des Jahres 1917, seitdem die volle Ausmahlung zum Prinzip erhoben worden und sogar die Reinigung des Kornes weggefallen ist, mit 37 Prozent Zellmembran der Trockensubstanz. Bemerkenswert ist, daß schon allein kleine Mengen, wie sie in den feinsten Mehlen vorkommen, erheblich für die Art der Zusammensetzung des Kotes sind. Die Zunahme der Zellmembran im Kot geht aber nicht proportional der Masse in dem Nahrungsmittel, weil auch die Menge der Stoffwechselprodukte eine Steigerung erfährt; bei einem Anwachsen der Zellmembran um das Achtfache nimmt die Zellmembran im Kot von etwa 12 Prozent auf 37 Prozent, also rund um das Dreifache zu.

Beachtenswert scheint mir auch der Umstand, daß ich bei den vielen Versuchen, die ich mit Bezug auf die Kriegsernährung ausgeführt habe, und bei den zahlreichen Versuchspersonen bei dem kleiehaltigen Brote in voller Übereinstimmung mit den Experimenten des Jahres 1883 niemals dünnflüssigen Stuhl gesehen habe, vielmehr das Gegenteil, trockene Stühle, die zum großen Teil recht schwer durch die Bauchpresse zu entleeren waren.

Die ältere Beobachtung, daß Schwarzbrot stark saure, dünnflüssige Stühle macht, bezog sich auf Versuche mit Münchener Schwarzbrot, dessen Kleiegehalt nicht näher bekannt war. Doch kamen auch bei Plagge und Lebbin offenbar ähnliche dünne Stuhlentleerungen zur Beobachtung. Es wird in Zukunft darauf zu achten sein, unter welchen Umständen als Begleiterscheinung dünner Stühle solche starke Säurebildung und Gasbildung auftritt.

Die Verwendung des zellmembranreichen Brotes zur Bekämpfung der Obstipation beruht also nicht auf einer Volumvermehrung durch Wasseranreicherung des Kotes, sondern nur auf dem rein mechanischen Moment umfangreicher Darmfüllung durch die Reste der Zellmembran.

Die Entstehung von Stoffwechselprodukten im Kot wird durch die Ergebnisse der Versuche klargestellt. Betrachtet man die Experimente mit feinstem Weizenmehl, so sind in ihm alle Bestandteile, die auch im Vollkornbrot vorhanden sind, Eiweißstoffe, Stärke, Pentosen und Pentosane, auch Zellmembran, dabei aber nur ein verschwindend kleiner Teil von Stoffwechselprodukten; es ist also die Resorption großer Mengen von vegetabilischem Eiweiß und Stärke möglich, ohne daß deshalb eine starke Inanspruchnahme der Darmsekretion unter Bildung von Stoffwechselrückstand eintritt. Bei den Versuchen mit Brot, das aber reichlich Zellmembranen enthält und dementsprechend weniger an Stärke enthält, tritt überall die Zunahme der Stoffwechselprodukte deutlich in die Erscheinung, auch da, wo es nicht bis zur Bildung eines weichen dünnen Stuhles kommt. Es bleibt somit gar kein anderer Schluß übrig, als eine Beziehung zwischen Zellmembrangehalt und Mehrung von Stoffwechselprodukten anzunehmen. Diese Beziehung ist aber keine einfache, etwa proportional der Zellmembranmasse, bei ungleichem Zellmembrangehalt kann eine nur mäßig verschiedene Ausscheidung von Stoffwechselprodukten eintreten. Da wir die bei der Resorption der Zellmembran ablaufenden Prozesse nicht direkt beobachten können, so läßt sich auch vorläufig keine Erklärung für die Abweichungen im einzelnen geben. Man kann aber wohl annehmen, wenn auch nicht direkt aus den Versuchen beweisen, daß gleiche Mengen Zellmembran manchmal verschiedene Qualitäten der letzteren darstellen können, einmal was den Vermahlungsgrad der Partikelchen anlangt, dann was die Natur der Zellmembranen betrifft, die außer der Zellmembran des Endosperms bald den Keimling einschließen, bald frei von Keimlingen sind, bald die eigentliche Schicht der Kleberzellen enthalten oder auch mehr von der Fruchthaut und deren äußeren Zelllagen einschließen. Auch das Verhältnis von Rinde und Krume könnte von Bedeutung sein. Weiter ins einzelne zu gehen, bietet vom physiologischen Standpunkt kaum ein besonderes Interesse.

Von älteren Versuchen über die Verdaulichkeit des Brotes sind recht umfangreiche Ausmahlungen verschiedenen Getreides verbunden mit Ausnützungsversuchen von Plagge und Lebbin ausgeführt worden, die ich schon mehrfach erwähnt habe. In neuerer Zeit hat Hindhede des öfteren auf sie Bezug genommen, zumeist um an ihnen seine übliche nörgelnde Kritik zu üben, ohne aber festzustellen, warum sich da und dort Abweichungen zwischen seinen Ausnützungsversuchen und jenen von Plagge und Lebbin ergeben. Im Bedarfsfalle muß bei Hindhede stets seine Methodik als die bessere herhalten, die sich aber, insoweit Fragen

der Ausnützung in Betracht kommen, in keinem wesentlichen Punkt von dem unterscheiden, was die deutsche Literatur längst vor ihm enthalten hat.

Wenn man die Versuche von Plagge und Lebbin mit anderen Ergebnissen vergleichen will, muß man die Originalzahlen etwas näher betrachten und die rohe Angabe über Ausnützung der Trockensubstanz auf den Kalorienwert umrechnen. Dies läßt sich mit großer Genauigkeit ausführen, da, wie ich zeigen werde, für Brotversuche sowohl für die Einfuhr wie für die Kotverluste sich die Kalorienwerte auf Grund der zahlreichen direkten kalorimetrischen Bestimmungen, die ich ausgeführt habe, berechnen lassen. Das Grundmaterial der Umrechnung der Versuche von Plagge und Lebbin findet sich im Anhang. Bei der Durchsicht der Versuche fällt dem kritischen Beobachter sofort auf, daß die Versuchsperson Pl., welche sich an den meisten Versuchen beteiligt hat, einen individuellen Ausnahmefall — solche findet man übrigens nicht so selten — darstellt, insofern sie die verschiedensten Brotsorten so schlecht ausnützt, daß dadurch die Gesamtresultate und Mittelzahlen sehr wesentlich und ungleich beeinflußt werden. Das Material von Plagge und Lebbin ist gerade in dieser Hinsicht, daß so verschiedene Personen gewählt worden sind, interessant für den Beweis, daß bei der schwer verdaulichen Zellmembran des Brotes individuelle Unterschiede der Verdaulichkeit sehr groß sind. Hindhedes fortwährende Beteuerungen, daß nur in seinem Laboratorium günstige Ausnützungswerte gefunden werden, haben gar keinen weiteren Wert, sind ihm auch nicht als Verdienst anzurechnen und beruhen überhaupt nur darauf, daß ihm der Zufall zwei Versuchspersonen in die Hand gespielt hat, die wahrscheinlich einen entsprechenden Darm und eine geeignete Darmflora haben, um die Zerealienzellmembran meist gut zu verdauen. Die Verallgemeinerung aber solcher Ergebnisse auf eine ganze Bevölkerung und als Ausdruck durchschnittlicher Ausnützungswerte ist absolut unzulässig. Gerade die Versuche von Plagge und Lebbin enthalten aber auch Versuche an Personen, die neben den ungünstigen Resultaten andere ausgezeichnete Verdauungswerte zeigen. So kommen bei ein und demselben Brote individuelle Differenzen von 12·89 bis 19·94 Prozent Kalorienverlust vor. In einer anderen Reihe 11·1 bis 19·2 Prozent usw. Scheidet man Pl. aus den Resultaten aus, so werden die Resultate wesentlich anders, so daß sie größere Abweichungen auch von meinen Versuchen nicht mehr erkennen lassen. Es muß aber betont werden, das Ziel der Ausnützungsversuche wird meist sein, ein Vergleich zweier Nahrungsmittel an derselben Person. Absolute Mittelwerte lassen sich nur bilden, wenn man an einer großen Anzahl von

Versuchspersonen Experimente ausführen könnte. Das wird in wichtigen Fällen angestrebt werden müssen.

Ich ordne die Versuche von Plagge und Lebbin nachstehend in zwei Tabellen.

Geschälter Roggen.

Autor	Art der Vermahlung	Ausmahlungsgrad	Zellmembrangehalt	Kalorienverlust	N-Verlust	Zellmembranverlust	Der Kot enthält Zellmembran Prozent	Bemerkung
Rubner	fein	94	6·51	15·85	37·05	73·31	34·79	
Plagge	grob	93	—	15·58	51·80	—	—	
Rubner	fein	94	8·75	14·80	39·30	47·00	33·80	Growittbrot
,, ...	fein	94	6·23	14·41	37·87	59·30	30·49	Klopferbrot
Plagge u. L.. .	fein	89	—	12·78	29·60	—	—	
,, ...	grob	85	—	12·36	37·91	—	—	
,, ...	fein	75	—	11·53	33·70	—	—	

Ungeschälter Roggen.

Autor	Art der Vermahlung	Ausmahlungsgrad	Zellmembrangehalt	Kalorienverlust	N-Verlust	Zellmembranverlust	Der Kot enthält Zellmembran Prozent	Bemerkung
Wicke	—	100	—	25·68	46·60	—	—	
Plagge u. L.. .	—	100	—	25·31	50·30	—	—	Gelinkbrot
,, ...	—	84	—	15·28	39·30	—	—	
Rubner	fein	94	6·89	15·00	39·68	57·10	30·75	
Plagge u. L.. .	grob	85	—	14·80	40·94	—	—	
Rubner	fein	82	6·96	13·80	40·30	55·70	31·80	
,, ...	fein	75	4·54	11·35	30·52	67·43	30·74	
,, ...	fein	65	3·14	9·80	37·80	48·10	19·62	

Die eine enthält die Versuche über geschälten, die andere Versuche über ungeschälten Roggen. Für einen Vergleich kann man sich nur an die Angaben über die Ausmahlungsprozente halten, was nach meinen oben gemachten Mitteilungen mit einiger Vorsicht aufzunehmen ist. Die Versuche sind absteigend nach dem Kalorienverlust geordnet.

Bei Betrachtung der Gruppe der Brote aus geschältem Roggen sieht man, daß die Versuche von Plagge und Lebbin recht weitgehend mit meinen Ergebnissen übereinstimmen. In der ganzen Gruppe findet sich kein Versuch, der über einen Verlust von 15·85 Prozent der Kalorien hinausgeht. Die Unterschiede der Ausnützung sind, praktisch betrachtet, für die Ausmahlung von 94 Prozent verschwindend klein. Die grobe Vermahlung, welche Plagge und Lebbin in einzelnen Versuchen absichtlich

angewandt haben, hat nicht den großen Einfluß, den man ihr vielleicht a priori zuschreiben möchte, aber sie hat doch Einfluß. In dem einen Fall zeigt der N-Verlust eine erhebliche Steigerung und ähnlich in dem zweiten Fall, auch wesentlich für den N-Verlust, aber doch nicht sehr bedeutend.

In der zweiten Gruppe des Brotes aus ungeschältem Roggen finden sich die ungünstigsten Ausnützungszahlen bei einem Versuch von Wicke, der in meinem Laboratorium ausgeführt worden ist, und bei Plagges Untersuchung des Gelinkbrotes. Hier reicht die schlechte Ausnützung in das Gebiet hinein, indem durch die Kleiemasse auch sonst wertvolle Nährstoffe mit zu Verlust gehen; der Kalorienverlust und der N-Verlust sind außerordentlich gesteigert. Somit darf man wohl sagen, daß das dekortizierte Brot die äußerste Grenze der guten oder befriedigenden Ausnützung ohne Schädigung der resorbierbaren Kohlehydrate bedeutet. Auch in dieser Gruppe kann die Art der Vermahlung, ob grob oder fein, nochmals auf ihre Wirkung untersucht werden. Der Unterschied ist wohl angedeutet, quantitativ aber ganz belanglos. Dem Grade der Zermahlung kann man also eine so ausschlaggebende Bedeutung, wie man vermuten möchte, nicht zubilligen, was mit Rücksicht auf das über das Fletschersystem oben schon Gesagte wohl zu beachten ist.

Zurückgreifend auf die Generaltabelle S. 353, scheint es mir angemessen, noch etwas über Unterschiede in der Verdaulichkeit von Weizen und Roggen zu sagen.

Vom Roggen ist bekannt, daß er nicht in dem Maße zu Gebäcken verwertbar ist wie der Weizen. Es ist schwer verständlich, daß man dieser Erfahrungstatsache gegenüber glaubt, durch allgemein gehaltene Redensarten dem Roggen einen Vorzug vor dem Weizen zu verschaffen. Ich habe schon an anderer Stelle[1] 1915 darauf hingewiesen, daß die damals vorliegenden Versuche auf eine bessere Ausnützung des Weizens hinzudeuten scheinen, die sich sowohl auf die Gesamtausnützung wie auch auf den Eiweißverlust bezieht. Damals standen aber noch keine Versuche zu Gebote, welche bei bekanntem Zellmembrangehalt der Brote angestellt waren. Nach der Tabelle S. 353 ergibt sich doch zweifellos auch hier das Resultat, daß unter vergleichbaren Verhältnissen das Weizenmehl gleichen Zellmembrangehaltes besser ausnützbar ist als das Roggenmehl. Der Hauptunterschied scheint in der Verwertbarkeit der Eiweißstoffe zu liegen. Ich stelle die vergleichbaren älteren und neuen Versuche nochmals sich gegenüber.

---

[1] a. a. O. S. 12.

	Verlust an Kalorien	an N	
Dekort. Weizenmehl (94 Prozent) . .	12·20	30·50	
Dekort. Roggen (95 Prozent)	14·60	38·70	
Weizen (70 Prozent)	6·91	18·68	Aus den Versuchen von Plagge und Lebbin berechnet
Roggen (75 Prozent)	11·53	33·75	
Weizen (5·09 Prozent Zellmembran) .	11·10	21·10	Neue Versuche
Roggen (4·54 Prozent Zellmembran) .	11·35	30·52	

In der letzten Reihe werden zwar nicht Brote absolut gleichen Zellmembrangehaltes verglichen, aber sie stehen sich doch nahe. Der Vergleich der Kalorien ergibt dieselben Werte. Trotzdem bleibt die Ausnützbarkeit von N viel geringer als bei Weizen; es ist anzunehmen, daß bei gleichem Zellmembrangehalt auch die Gesamtausnützung sich ungünstiger gestellt hätte, wie es zwischen Weizen und Roggen in den anderen Fällen eingetreten ist. Eine genauere Untersuchung durch besonders auf diese Frage gerichteten Versuche scheint mir wünschenswert zu sein.

In der großen Zahl meiner Untersuchungen wurde die Ausscheidung auch direkt auf Stärkemehl untersucht, sie bieten daher eine gute Übersicht über die Verdaulichkeit dieses wichtigen Nährstoffes. Bei meinen älteren Versuchen hatte ich mangels geeigneter Untersuchungsmethoden die Kohlehydrate im Kot in analoger Weise berechnet, wie dies bei den Nahrungsmitteln noch heute geschieht. Die Gesamtergebnisse haben im allgemeinen ein zutreffendes Bild vorliegender Unterschiede in der Verdaulichkeit der „Kohlehydrate“ (inklusive Zellmembran) wohl gegeben. Man kann aber heute Zellmembran und Stärke jedes für sich bestimmen und so exaktere Angaben machen.

Von 100 Teilen Stärke sind:

Nahrung	Verloren Prozent
Feines Weizenbrot	0·34
Kartoffel	0·53
Weizen (70 Prozent Ausmahlung)	0·70
Gerste (62·5 Prozent Ausmahlung)	0·70
Finklerbrot	0·93
Kriegsbrot 1917 (mit Kohlrüben)	1·05
Klopferbrot	1·24
Mischmehl (Roggen, Mais, Kartoffeln) . . .	1·30
Roggen (65 Prozent Ausmahlung)	1·30
„ mit Kartoffel	1·20
„ (82 Prozent Ausmahlung)	1·30
„ (95 „ „)	1·40
„ (72 „ „)	1·70
„ (94 „ „)	2·01
„ (94 „ „)	2·09
„ (82 „ „) u. Kartoffel	2·60

Roggenbrot zeigt durchweg etwas weniger gute Stärkeverdauung als Weizen und Gerste. Die ungünstigste Kombination war gröberes Mehl und Kartoffelzusatz. Nach Konstantinidi[1] wird das Stärkemehl der Kartoffel mit 0·38 Prozent Verlust resorbiert. Im ganzen ist die Resorption der Stärke auch im Brote selbst hoher Ausmahlung vorzüglich. Anders liegt die Sache, wenn wirklich Schalen, z. B. der Hülsenfrüchte wie bei der Linse und Bohne mitverzehrt werden; die Verschlechterung nimmt dann gewaltig zu. Fälle dieser Art habe ich bei den Menschen nicht weiter untersucht. So bewegen sich die Resorptionszahlen der Stärke in sehr engen Grenzen. Interessant ist nur, daß niemals nach Stärkeaufnahme die Stärke im Kote ganz gefehlt hat.

Die hier in Betracht gezogenen Brote waren sämtlich aus fein vermahlenem Mehl hergestellt, nicht etwa aus geschrotetem Mehl; sie sind auch sämtlich durch Gärung mit Hefe oder Sauerteig wohlgelockerte Gebäcke gewesen.

Andere Arten der Zubereitung hierbei noch in den Kreis der Untersuchung zu ziehen, war unnötig, da es sich wesentlich um die Aufklärung handelt, ob die Vollkornbrote wirklich alle Teile des Kornes enthalten und inwieweit Abweichungen vorliegen. Diese Frage ist gelöst. Alle Varianten solcher Bestrebungen hier zu erörtern, kann unterbleiben, das mag den weiteren Prüfungen mit mehr technischen Zielen überlassen sein. Ein näheres Zusammenarbeiten zwischen Wissenschaft und Technik wäre auf diesem Gebiete allerdings für rein praktische Ziele von Bedeutung.

In manchen Fällen kommen auch brotartige Gebäcke, die ziemlich wasserfrei oder hart sind, zur Verwendung; sie sind schon wegen der Kauschwierigkeiten nur einer beschränkten Zahl von Menschen zugängig. Auch das übermäßig altbackene Brot gehört hierher.

Es ist widersinnig — von dem Zwieback und ähnlichen Konserven abgesehen —, eine Speise so herzustellen, daß sie der Zerkleinerung maximalste Schwierigkeiten entgegensetzt, wie das Hindhede neuerdings versucht. Die Kochkunst geht im allgemeinen darauf aus, die Speisen so zuzubereiten, daß sie weicher werden, nicht aber daß sie möglichst hart sind. Auf dem Gebiete der vegetabilischen Nahrungsmittel wird allgemein dieser Grundsatz verfolgt, und das ist zweifellos gut. Bei dem Fleisch müssen wir eine gewisse Härtung durch das Erhitzen mit in den Kauf nehmen, um die Extraktivstoffe zu spalten. Es liegt kein Grund vor, beim Brote anders zu verfahren; man pflegt auch keine Trockenkartoffel zu kauen, obschon man dies ja auch einführen könnte. Starke

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXIII. S. 449.

mehlartige Substanzen sehr wasserarm zu genießen, bringt denselben Nachteil, als wenn man rohe Stärke aufnehmen würde, das habe ich an anderer Stelle experimentell belegt, denn auch das beste Kauen würde diesen Mangel nicht wieder beseitigen können. Mag auch dieses Extrem der Austrocknung, das zur Hemmung der Quellung wird, nur teilweise erreicht werden, so muß man doch damit rechnen, wenn eben der mittlere Trockenheitsgrad eine hohe Stufe erreicht hat.

Wie wenig vorteilhaft die Schrotung des Mehles für die Brotbereitung ist, geht auch aus einer Beobachtung Hindhedes hervor, die schon erwähnt wurde (vgl. oben über Kleie). Er berechnet aus dem Vergleiche von Schrotbrot mit einem Brot aus demselben Mehl, von dem aber die gröberen Teile abgesiebt sind, den Grad der Verdaulichkeit der Kleieanteile, welche das Schrotbrot gewissermaßen gegenüber dem feineren Mehlanteil einschließt, wobei dieselbe Verdaulichkeit herauskommt wie bei Plagge und Lebbin, als diese aus reiner Kleie Brot backen ließen und es verzehrten. Die Ausnützung ist enorm verschlechtert für den Kleieanteil und viel ungünstiger als in meinen Versuchen über finklanisierte Kleie. Ganz das gleiche Ergebnis hat man bei einem Vergleich zwischen Schrotbrot und Klopferbrot bei dem Versuch von Hindhede. Freilich nicht allein wegen der Schrotung, sondern wegen dieser und dem Übermaß an Zellmembran, das solche Brote einschließen.

Zur Frage der so oft gehörten besseren Ascheversorgung des Körpers bei stärkerer Ausmahlung des Kornes habe ich schon in der Einleitung zu dieser Arbeit Stellung genommen und darauf verwiesen, daß dem Brot in der Aschezufuhr in der normalen gemischten Kost gar nicht die Bedeutung zukommt, die man ihm zuschreibt, jedenfalls auch nicht dem Vollkornbrot, insofern als ja mit stärkerer Ausmahlung die Magnesiasalze erheblich zunehmen, an welchen ohnedies kein Mangel ist. Die Salze des Brotes haben auch in ihrer Zusammensetzung nichts mit unserem Organismus gemein. Viel ausschlaggebender sind die Gemüse. Aus diesen allgemeinen Bedenken und Erwägungen schloß sich bestätigend an, was ich auf S. 360 über die Ascheverluste im Kot bei verschiedener Ausmahlung auf Grund der Versuche mitgetilt habe. Die Verluste nehmen in enormem Maße mit der Zufuhr von Aschebestandteilen im Kote zu. Erhöhte Zufuhr bedeutet also, wie man immer wieder betonen muß, nicht Steigerung der Resorption, sondern Steigerung der Verluste; dies ist in hohem Maße bemerkenswert. Da man doch annehmen muß, daß die Salze des Brotes sich zwischen Harn und Kot in den Ausscheidungen verteilen; sie sollten eine Steigerung der Zufuhr durch die Resorptionszahlen zum Ausdruck bringen.

Zur Klarlegung der Verhältnisse kann noch folgende kleine Tabelle dienen, welche die Zufuhr an kochsalzfreier Asche dem Ascheverlust durch den Kot gegenüberstellt. Um zum Ausdruck zu bringen, daß wir auf diesem Gebiete in dem Verhalten des Roggenbrotes nichts Neues sehen, habe ich auch eine Auslese aus meinen älteren Versuchen, die diese Tatsachen enthält, gegeben.

Nahrung	Ausmahlung etwa	g Brot im Tag verzehrt	Kochsalzfreie Asche	Asche im Kot	
Weizen[1]	30	934	2·95	2·95	Neuer Versuch
„	30	898	2·39	2·39	Älterer Versuch
„	70	882	2·85	3·90	Älterer Versuch
„	80	637	6·60	7·06	Neuer Versuch
„	94	989	8·54	8·34	Neuer Versuch
Roggen	94	1091	6·13	7·43	Neuer Versuch
Kriegsbrot	100	1166	7·89	7·10	Neuer Versuch
Finklerbrot . . .	100	1112	9·40	8·97	Neuer Versuch

Mit zunehmender Aschenmenge ergibt sich bei Weizen nicht eine Deckung des Verlustes im Kot, sondern eine Steigerung der Kotsalze, die bei 80 Prozent Ausmahlung nicht nur die ganze Menge der erhöhten Salzzufuhr verschlingt, sondern noch darüber hinausgeht und selbst bei 94 Prozent Ausmahlung reichte die Zufuhr knapp für die Deckung der Kotasche und lieferte aber nichts für den Harn.

In so einfacher Weise spielt sich die Sache allerdings nicht ab, weil ja unbedingt ein Teil der Brotasche in den Harn übertritt, also die Deckung der Ascheverluste in den Ausscheidungen noch viel weniger gelingt, als es den Anschein hat.

Nicht anders wie beim Weizenbrot ist es beim Roggen. Die aufgeführten Beispiele zeigen, wie trotz der erheblichen hohen Aschezufuhr diese für die körperlichen Bedürfnisse nicht hingereicht hat, weil sie ja nicht einmal so viel ausmachte, daß die Verluste im Kot — rechnerisch — gedeckt werden.

Die drei aufgeführten Versuche repräsentieren 6 Wochen Broternährung; nimmt man ihre ganzen Ergebnisse in einem Mittel zusammen, so sind

eingeführt in 6 Wochen . . . . 327·8 g Salze
im Kot allein abgegeben . . . . 328·9 g

Die Zufuhr deckt die Ausfuhr durch den Kot allerdings fast ganz, läßt aber die Asche, welche im Harn verloren wird, ganz ungedeckt. Die

[1] Mittel aus zwei Reihen mit 1151 g bzw. 718 g Brotaufnahme.

Bedürfnisse an Salzen werden durch die Mehrzufuhr also nicht einfach abgeglichen oder die Verluste wenigstens gemindert, die Ansprüche nach Salzen werden erhöht, weil die Ausscheidungsggröße im Kot zunimmt. Wir sind also auch mit dem Vollkornbrot nicht im entferntesten in der Lage, unsere Aschebedürfnisse abzugleichen. Wie sich die einzelnen Aschebestandteile verhalten, kann hier ununtersucht bleiben. An der Steigerung der Ascheausscheidung ist nicht allein das Fehlen der Resorption beteiligt, sondern vor allem die Steigerung des Salzbedarfes durch die mit der Zellmembran zunehmenden Mengen der Stoffwechselprodukte. Die weitere Prüfung dieser Fragen muß vorbehalten bleiben. Warum uns also die vermehrte Zufuhr an Asche in der Kleie keinen Nutzen bringt und bringen kann, ist damit klargelegt; ein Motiv, Vollkornbrot aus Gründen des Aschereichtums in den Vordergrund zu stellen oder ein Einheitsbrot dieser Art als notwendig und zweckmäßig erscheinen zu lassen, kann nicht zugegeben werden.

Anhang.

Umrechnung sämtlicher Versuche von Plagge und Lebbin.

1 g organ. Brotsubstanz = 4·282 Kalorien. 1 g organ. Kot = 5·478 Kalorien.
Nach meinen Versuchen vom Jahre 1917.

Autor	Kalorien im Brot	Kalorien im Kot	Prozent-Verlust	Mittel	N-Verlust	Mittel
Soldatenbrot, Roggenmehl, ungeschältes Korn, 15 Prozent Kleie, grobes Mehl:						
P.	6126	1221	19·94	16·13	49·92	43·35
L.	6124	876	14·34		39·18	
P.	6133	1064	17·34		47·00	
P.	6273	1114	17·75		45·05	
v. B.	6273	809	12·89		38·88	
F.	4120	631	15·31		40·61	
Sch.	3342	529	15·83		43·68	
v. B.	6760	1058	15·65		42·43	
Grobes Roggenmehl geschält, Korn (3·5 Prozent Verlust und 39 Prozent Kleieverlust = 7·4 Prozent im ganzen)						
P.	6275	1320	21·42	18·50	61·50	56·65
L.	6275	978	15·58		51·80	
Grobes Mehl, geschältes Korn, 3·15 Prozent Schälkleie, 11·85 Prozent Mahlkleie = 15 Prozent im ganzen:						
P.	6200	1074	17·30	14·02	45·09	40·28
v. B.	5755	710	12·33		37·83	
G.	5533	689	12·40		37·99	

Autor	Kalorien im Brot	Kalorien im Kot	Prozent-Verlust	Mittel	N-Verlust	Mittel
Fein vermahlenes Mehl, geschälter Roggen, 3·08 Prozent Schälkleie + 7·76 Prozent Mahlkleie = 10·84 Prozent Ausmahlung:						
P.	6779	978	14·43	14·39	33·20	33·38
P.	5312	1020	19·19		45·00	
Sch.	5312	686	12·91		29·80	
R.	5420	776	14·32		31·50	
Sch.	5420	602	11·11		27·50	
Feines Mehl, ungeschälter Roggen, 84 Prozent Ausmahlung (10·94 Prozent Kleie + 1·74 Prozent Spitzabfall):						
P.	6277	913	14·54	15·28	38·80	39·30
G.	6277	1006	16·02		39·90	
Mehl nach 73·5 Prozent Ausbeute bis 84 Prozent:						
P.	5566	1894	34·02	32·12	50·85	46·20
L.	5566	1682	30·22		41·70	
Fein vermahlener Roggen, 25 Prozent Kleieauszug:						
P.	6378	753	11·80	11·53	31·92	33·75
M.	6378	704	11·04		36·66	
M.	6378	750	11·76		32·67	
Weizenmehl, 30 Prozent Kleieauszug:						
P.	5545	458	8·27	6·91	22·18	18·68
Sch.	5545	310	5·56		15·23	
Nur Kleie:						
P.	3597	1872	52·04	52·44	59·08	56·32
P.	2638	1394	52·84		53·58	
Pumpernickel:						
B.	6183	1134	18·33		52·04	
Gelinkbrot:						
B.	5655	1465	25·96	25·31	51·26	50·31
O.	4796	1112	23·19		49·89	
B.	4286	1205	28·11		55·07	
G.	4954	1189	23·99		45·02	

Das

ARCHIV

für

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE,

Fortsetzung des von **Reil**, **Reil** und **Autenrieth**, **J. F. Meckel**, **Joh. Müller**, **Reichert** und **du Bois-Reymond** herausgegebenen Archives,

erscheint jährlich in 12 Heften (bezw. in Doppelheften) mit Figuren im Text und zahlreichen Tafeln.

6 Hefte entfallen auf die anatomische Abteilung und 6 auf die physiologische Abteilung.

Der Preis des Jahrganges beträgt 54 ℳ. Gesamtteuerungszuschlag bis auf weiteres 25 %.

Auf die anatomische Abteilung (Archiv für Anatomie, herausgegeben von Dr. Wilhelm v. Waldeyer-Hartz, Dr. Hans Virchow und Dr. Paul Röthig in Berlin) sowie auf die physiologische Abteilung (Archiv für Physiologie, herausgegeben von Dr. Max Rubner) kann besonders abonniert werden, und es beträgt bei Einzelbezug der Preis der anatomischen Abteilung 40 ℳ, der Preis der physiologischen Abteilung 26 ℳ.

Bestellungen auf das vollständige Archiv, wie auf die einzelnen Abteilungen nehmen alle Buchhandlungen des In- und Auslandes entgegen.

Die Verlagsbuchhandlung:

Veit & Comp. in Leipzig.

Metzger & Wittig, Leipzig.

